Deur-tot-deur reistijdbetrouwbaarheid op basis van floating car data

Koomen, Eric; Jacobs-Crisioni, C.G.W.

2021

Deur-tot-deur reistijdbetrouwbaarheid op basis van floating car data

Eric Koomen, Chris Jacobs-Crisioni
Juli, 2021

Opdracht voor Rijkswaterstaat - Centrale Informatievoorziening

In het kader van de raamovereenkomst Samenwerking en Kennisuitwisseling op het gebied van Ruimtelijke Informatievoorziening

Contactinformatie:
Vrije Universiteit Amsterdam
School of Business and Economics
Department of Spatial Economics/ Spatial Information Laboratory (SPIN*lab*)
De Boelelaan 1105
1081 HV Amsterdam
Netherlands
Phone: +31 20 5986095
Email: e.koomen@vu.nl
Website: https://spinlab.vu.nl/

Samenvatting

Het onderzoek naar reistijdbetrouwbaarheid dat we in dit onderzoeksrapport beschrijven komt voort uit de kennisuitwisselings- en onderzoeksrelatie die RWS en Vrije Universiteit Amsterdam in 2015 aangingen op het gebied van Ruimtelijke Informatievoorziening. Het project is inhoudelijk gedefinieerd en uitgevoerd in overleg met Frank Hofman, Dusica Krstic-Joksimovic en Marcel Mulder van afdeling Modellen en Applicaties van het onderdeel Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) van Rijswaterstaat.

Centraal in dit onderzoek staat het gebruik van floating car data voor de analyse van deur-tot-deur reistijdbetrouwbaarheid. Floating car data is een verzamelnaam voor data die de verplaatsingen van individuele voertuigen beschrijft. Deze data wordt ingewonnen door bijvoorbeeld navigatiesoftware in voertuigen (in-car navigation data), via apps op de mobiele telefoon van weggebruikers die behulpzaam zijn bij routekeuze (zoals GoogleMaps) of waarschuwen voor files of flitspalen (zoals Flitsmeister), of door wagenparkbeheerders die hun voertuigen volgen. Het voordeel van deze “big” data is dat ze informatie bevat over alle wegen van Nederland een dus een veel bredere ruimtelijke dekking biedt dan de klassieke gegevens die bijvoorbeeld met een relatief beperkt aantal tellusen worden ingewonnen.

In een eerdere verkenning stelden we vast dat Floating car data van meerwaarde zijn om reistijdbetrouwbaarheidanalyses te doen voor specifieke routes die bestaan uit delen op het autosnelwegennet en het onderliggend wegennet op basis van een groot aantal waarnemingen. In deze rapportage bouwen we daarop voort en onderzoeken we reistijdbetrouwbaarheid in zowel de ochtend- als middagspits voor een groot aantal routes verspreid door heel Nederland die zo wel uit snelweg als overige wegen bestaan. Reistijdbetrouwbaarheid is in deze studie gemeten als variatie in reistijden op een route ten opzichte van de gemiddelde reistijd op een specifieke werkdag bij vertrek binnen een specifiek kwartier; zodat het hier betrouwbaarheid geldt zoals die beleefd wordt door een ervaren gebruiker van de route. Bij grotere variatie is sprake van een onbetrouwbare reistijd. In lijn met eerder onderzoek spreken we daarom ook van een onbetrouwbaarheidsindicator.

In deze studie maken we onderscheid tussen de ochtendspits (gedefinieerd als de periode tussen 06:00 en 11:00 uur op werkdagen) en de middagspits (werkdagen tussen 15:00 en 20:00 uur). In totaal zijn 22 routes onderzocht die zijn onderverdeeld naar forensenroutes, waarvan is ingeschat dat ze vooral spitsdrukte kennen door woon-werk verplaatsingen; algemeen spitsdrukke routes, waarbij wordt verwacht dat drukte door meerdere reismotieven wordt veroorzaakt; en lange afstandsroutes die zijn gekozen om te onderzoeken in welke mate deur tot deur reistijdbetrouwbaarheid hier van belang is.

Voor deze analyse is gebruik gemaakt van floating-car data die is verzameld door BeMobile en door de Nationale Databank Wegverkeersgegevens (NDW) beschikbaar gemaakt voor dit onderzoek. De reistijden in deze studie zijn representatief voor de trips die in deze periode over de gekozen routes gemaakt zouden kunnen zijn, maar ze niet gebaseerd zijn op individuen die deze route van deur tot deur hebben afgelegd. De reistijden zijn een optelsom van de reistijd over de afzonderlijke segmenten waaruit de route bestaat, maar die door steeds verschillende individuen zo ervaren is. De berekende reistijden houden rekening met het zich tijdens de reis ontwikkelende verkeer. Bij het opbouwen van de trip wordt steeds de reistijd gebruikt van de minuut waarin op dat moment gereisd wordt. Daarbij wordt rekening gehouden met de locatie waar de voertuigen zich op dat moment bevinden. Na verstrijken van een minuut wordt het resterende deel van de reistijd op dat wegvak gebaseerd op de nieuwe minuut.

De eerder door de VU ontwikkelde analyse-omgeving is voor deze studie aangepast om de berekeningen te versnellen. De belangrijkste aanpassing betreft het voor elke 100 milliseconden

creëren van een apart routebestand met de voor dat tijdstip zich ontwikkelende reistijden per wegsegment. Met de aanpassing kunnen de reistijdberekeningen gelijktijdig worden uitgevoerd op meerdere microprocessoren (*parallel processing*) en kost het berekenen van alle reistijden op een dag voor een route nog maar een paar minuten in plaats van de eerdere paar uur.

De analyse levert een grote set aan resultaten op waar we in dit rapport beknopt op in gaan. Allereerst blijkt de data behoorlijk compleet te zijn. Gemiddeld genomen ontbreken waarnemingen voor slechts 7% van de wegsegment-minuut combinaties in de ochtendspits en nog minder (4,5%) in de middagspits. Dit percentage is hoger voor routes met veel onderliggend weggennet en aan de randen van het land. Hiermee is het mogelijk een behoorlijk compleet beeld te schetsen van het reistijdverloop.

De weergave van het reistijdverloop van de individuele routes laat zien dat de onbetrouwbaarheid van reistijd vaak gelijk oploopt met de gemiddelde vertraging (uitgedrukt in tijd die een reis langer duurt dan de snelste 5% reistijden). Deze relatie is zichtbaar voor alle routes en geldt voor zowel snelwegen als overige wegen. Uitzondering hierop zijn de routes waar slechts een heel kort deel van de route over een van beide wegtypen wordt afgelegd. Ook tijdens de middagspits voor specifieke routes met een veel drukkere ochtendspits dan middagspits vinden we een beperkte vertraging en onbetrouwbaarheid.

Als we de resultaten van de afzonderlijk routealternatieven samennemen en normaliseren naar lengte van de route wordt het mogelijk meer algemene relaties te kwantificeren. Uit deze samengevoegde, genormaliseerde resultaten blijkt dat bij vergelijking binnen regio's de vertraging tijdens de ochtendspits op typische (ochtend) forensenroutes minder groot is dan op de routes die daarbij, naar onze verwachting, ook nog een relatief groot deel overig verkeer hebben.

De onbetrouwbaarheid in de ochtendspits is voor zowel de typische forensenroutes als de algemeen spitsdrukke stukken grofweg even groot. In de middagspits is de onbetrouwbaarheid van de spitsdrukke stukken groter. Zoals te verwachten zijn vertragingen en onbetrouwbaarheid relatief groot in de Randstad. Over het algemeen verandert onbetrouwbaarheid betrekkelijk eenduidig bij vertragingen; alleen de reistijdonbetrouwbaarheid van routes in minder drukke regio's buiten de Randstad lijken minder sterk te reageren op langere vertragingen. Dit kan komen doordat daar maar minder vaak grote vertragingen voorkomen, maar kan uiteraard ook een gevolg zijn van de relatief beperkte set van dergelijke routes.

De variatie over de verschillende weekdagen vertoont vooral voor de Randstad een grote spreiding waar voor de ochtendspits de maandag, dinsdag en donderdag eruit springen met relatief grote vertraging en onbetrouwbaarheid, maar voor de middagspits juist de dinsdag, woensdag en donderdag. Ook hier zou het relatief beperkte aantal unieke weekdag-tijdvak-regio-trajecttype combinaties een rol kunnen spelen.

Met deze analyse is nog maar een klein begin gemaakt met het ontdekken van de onderzoeks-mogelijkheden van de floating car data. Met de nu verzamelde onderzoeksperiode en binnen de voor dit project beschikbare tijd was het bijvoorbeeld niet mogelijk om specifieke uitspraken over de gevolgen van weersomstandigheden, evenementen, werkzaamheden of andere incidenten te doen. Daarnaast zou in vervolgonderzoek meer aandacht besteed kunnen worden aan de variatie in vertragingen over de overige (niet spits) uren van de dag, of volgens een andere indeling in wegtypen. Ook is het met floating car data mogelijk om de relatieve aantrekkelijkheid van verschillende routealternatieven op een gestructureerde manier te vergelijken.

Inhoudsopgave

1. Inleiding

In 2017 en 2018 heeft VU Amsterdam samen met Rijkswaterstaat WVL een verkennende analyse uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van floating car data voor het beschrijven van verplaatsingsgedrag (Koomen et al., 2018). Het grote voordeel van floating car data is dat deze een veel bredere dekking heeft dan reguliere meetmethoden voor verkeersmonitoring (Uenk-Telgen et al., 2016; Blanken, 2017). Daarmee wordt het onder meer mogelijk om reistijden te analyseren voor verschillende momenten van de dag op uiteenlopende locaties buiten de reguliere meetnetwerken.

In de eerdere verkenning die de VU uitvoerde is een methode opgezet om variatie in reistijd gedurende de spits te beschrijven op basis van floating car data die door de Nationale Databank Wegverkeer (NDW) is aangeschaft. Voor de gekozen twee proeftrajecten leverde dat een eerste verkenning op van de betrouwbaarheid van deur-tot-deur reizen in de spits, met daarbij inzicht in de verschillen tussen autosnelwegen (ASW) en overige wegen. Reistijdbetrouwbaarheid is hierin gedefinieerd als de standaardafwijking in reistijden op een route ten opzichte van de gemiddelde reistijd op een specifieke werkdag bij vertrek binnen een specifiek kwartier. Deze indicator is gebruikelijk in praktijkgerichte studies (RAND, 2004; Hamer et al., 2005) en academische literatuur (Fosgerau, 2010; Peer et al., 2012). Het gaat hier om de betrouwbaarheid in reistijd zoals die beleefd wordt door een ervaren gebruiker van de route. Bij grotere afwijkingen is sprake van een onbetrouwbare reistijd. Daarom wordt vaak gesproken van een onbetrouwbaarheidsindicator (Kouwenhoven et al., 2015). Onze eerste, verkennende analyse bevestigde allereerst een bekend beeld: de onbetrouwbaarheid neemt toe met de mate van reistijdvertragingen in de piek van de spits zijn reizen niet alleen gemiddeld langer, maar ook nog eens onzekerder. Die verschillen zijn op het snelwegennet veel geprononceerder dan op het onderliggend wegennet, maar vertonen wel hetzelfde basispatroon van toenemende onbetrouwbaarheid bij grotere reistijdvertragingen.

Onze bevindingen lijken af te wijken van een van de weinige andere studies over dit onderwerp waarin geconstateerd werd dat “dat de standaardafwijking van de reistijden op het snelwegdeel niet of nauwelijks gecorreleerd was met de standaardafwijking van de reistijden op de overige wegen” (Kouwenhoven en Bel, 2014: p.40). Beide studies gebruiken echter een kleine steekproef (wij slechts 2 routes, tegenover 10 bij Kouwenhoven en Bel), heel andere routes, andere regio’s (Den Haag/Rotterdam versus een groot deel Nederland), andere perioden (ochtendspits of drie delen van de dag) en wellicht ook een andere wegindeling. Daarnaast wijkt ook de methode waarmee onbetrouwbaarheid is uitgedrukt af. Dat betreft zowel de grondslag voor betrouwbaarheid (de gemiddelde reistijd over 15 vertrekmomenten in een tijdvak van 15 minuten, tegenover één reistijdsobservatie per kwartier) als de manier waarop ze gecombineerd zijn (als de reistijd van een route opgebouwd uit metingen op zeer kleine segmenten door vele voertuigen, versus de reistijd uit een doorlopende reis). Daarbij worden de standaardafwijkingen op ASW- en overig wegennet anders vergeleken (middels een direct vergelijk van de gevonden standaardafwijkingen per kwartier op segmenten die horen bij het ASW of OWN, of op basis van een vergelijkbare relatie ten opzichte van totale reistijd).

Met de nu voor RWS beschikbare floating car data en de in het eerdere onderzoek toegepaste methode van reistijdanalyse is het mogelijk de analyse uit te breiden tot een groter aantal routes en hier ook de middagspits in te betrekken. Hiermee onderzoeken we in hoeverre de waargenomen relaties algemener geldend zijn en wordt tevens een robuustere vergelijking met de studie van Kouwenhoven en Bel mogelijk. Door gebruik te maken van een langere onderzoeksperiode is het ook mogelijk om bijvoorbeeld weekdag specifieke analyses te doen en daarmee de vergelijkbaarheid verder te vergroten.

Dit onderzoek is uitgevoerd als onderdeel van de Raamovereenkomst Samenwerking en Kennisuitwisseling op het gebied van Ruimtelijke Informatievoorziening die RWS en Vrije Universiteit Amsterdam in 2015 zijn aangegaan. Het onderzoek is opgezet en uitgevoerd in nauwe samenwerking met het onderdeel Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) van Rijkswaterstaat (meer specifiek: Frank Hofman, Dusica Krstic-Joksimovic en Marcel Mulder). Tussentijdse voortgang en veranderingen in de oorspronkelijke onderzoeksplanning en -opzet als gevolg van onder meer beperkte databeschikbaarheid zijn met hen besproken.

Doelstelling en projectopzet

De doelstelling van het project is om temporele en ruimtelijke verschillen in reistijdbetrouwbaarheid op autosnelwegen en overige wegen te analyseren. Om dit te bereiken hebben we de volgende stappen doorlopen:

- Definiëren van ruim 20 in de praktijk veel gebruikte forensenroutes in samenspraak met WVL.
- Verzamelen reistijdinformatie over de geselecteerde routes over een zo lang mogelijke periode in samenwerking met NDW. Beknopte beschrijving van missende observaties.
- Berekenen van reistijden over de geselecteerde routes. Deze fase vergde het implementeren van de verkregen reistijdinformatie per wegvak, datum en tijdstip in de open source analyse omgeving (GeoDMS) waarin totale reistijden worden berekend. Deze omgeving is in de pilotfase van dit project ontwikkeld en aangepast voor deze studie om met de grote hoeveelheden route-alternatieven om te gaan.
- Reistijdbetrouwbaarheid tijdens (brede) spitsuren analyseren voor de geselecteerde routes en daarbij onderscheid maken in ochtend- en middagspits, dag van de week, onderliggend en autosnelwegennet. Daarnaast is middels een beknopte statistische analyse onderzocht of er systematische verschillen in reistijdbetrouwbaarheid bestaan als gevolg van bijvoorbeeld type weg, regio of andere factoren die direct aan de doorstroming relateren.
- Beschrijven van de methode en resultaten in een beknopte Nederlandstalige rapportage.

2. Selectie van routes

Om een zo breed mogelijk beeld te schetsen van reistijdbetrouwbaarheid hebben we in overleg met RWS-WVL een aantal criteria opgesteld waaraan de te selecteren routes moeten voldoen. Belangrijke uitgangspunten hierbij zijn dat de routes:

- Gebruik maken van zowel snelwegen als overige wegen; beide wegtypen zijn bij voorkeur onderdeel van een individuele route.
- Representatief zijn voor verschillende typen weggebruikers (forensen, overige regionaal (zakelijk) verkeer en lange afstandsrijders) wat voor een belangrijk deel tot uiting komt in de geselecteerde herkomst-bestemmingscombinaties en de lengte van de route die bij voorkeur varieert tussen 20 km (grofweg de gemiddelde woon-werkafstand in Nederland[1]) en 100 km (indicatief voor zakelijk (goederen) verkeer over lange afstanden).
- Naar verwachting te maken hebben met reistijdonbetrouwbaarheid en dus vrij veel verkeer verwerken.
- Een redelijke spreiding over het land geven en naast notoir drukke stukken in de Randstad ook andere relatief drukke delen van het land bestrijken.
- Voldoende waarnemingen bevatten om generaliseerbare inzichten op te doen voor verschillende deelaspecten van deze studie (b.v. type weg of weggebruiker).
- Afzonderlijk routes moeten zo min mogelijk overlappen om voldoende variatie in de waarnemingen en een zo breed mogelijke ruimtelijke dekking te garanderen;
- Voor de begin- en eindpunten op het overig wegennet bij voorkeur die wegvakken te selecteren die een redelijke hoeveelheid verkeer bevatten zodat er voldoende snelheidswaarnemingen zijn om voor alle tijdstippen een betekenis gemiddelde wegvaksnelheid op te leveren.
- Idealiter worden logische route-alternatieven voor dezelfde herkomst-bestemmingscombinaties in samenhang beschouwd. Op basis hiervan kan steeds de snelste route geselecteerd worden, of bijvoorbeeld onderzocht worden in welke mate de snelheid en betrouwbaarheid van alternatieve opties in de tijd verschilt.

Deze criteria zijn deels tegenstrijdig, bijvoorbeeld waar het gaat om zowel generaliseerbare uitspraken opleveren (wat veel waarnemingen van vergelijkbare omstandigheden vergt) als ook een zo breed mogelijke spreiding over typen gebruikers en regio's te bieden. Er moesten dus keuzen gemaakt worden. Omdat we verwachten dat de reistijdonbetrouwbaarheid het grootst is in de Randstad en daar ook de meeste verkeersbewegingen zijn leggen we daar de nadruk op. Daarbij zoeken we als basis voor de routes logische herkomst-bestemmingscombinaties die representatief zijn voor relatief grote reizigersstromen.

Om dit keuzeproces te ondersteunen volgen we een benadering in twee stappen. Eerst kiezen we een aantal herkomst-bestemmingscombinaties (op gemeenteniveau) die op hoofdlijnen voldoen aan de belangrijkste criteria (lengte, drukte, regionale spreiding). Vervolgens kiezen we de specifieke routealternatieven waarin we letten op gebruik maken van zowel snelwegen als overige wegen en het benoemen van logische alternatieve routemogelijkheden.

Selectie herkomst-bestemmingscombinaties

Voor de selectie van herkomst-bestemmingscombinaties hebben we de belangrijkste woon-werk autoverplaatsingen tussen gemeentes in de ochtendspits volgens het Landelijk Model Systeem (LMS) voor 2014 op een rij gezet. Hiervoor zijn de verplaatsingen van alle LMS (sub) zones binnen een gemeente naar alle zones in een andere gemeente opgeteld. Tevens is de gemiddelde euclidische

[1] De gemiddelde woon-werkafstand in Nederland gemeten over alle vervoerswijzen was 22,6 km in 2016 (https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2018/11/woon-werkafstanden-2016).

afstand tussen alle zone-zone relaties in dat gemeentepaar bepaald om de belangrijkste verplaatsingen te kunnen selecteren van minimaal 20 en maximaal 100 kilometer, hemelsbreed. Hieruit hebben we in samenspraak met RWS de belangrijkste relaties geselecteerd die relatief weinig overlap in route kennen. Alleen als de logische route van een herkomst-bestemmingscombinatie belangrijke overlap vertoonde met een andere reeds geselecteerde herkomst-bestemmings-combinatie, of weinig mogelijkheid bood om een stuk overig wegennet te betrekken, is deze niet geselecteerd.

Tabel 1 Overzicht van de geselecteerde herkomst-bestemmingscombinaties.

ID	Herkomst	Bestemming	Trips[1]	Rang[2]	Afst. (km)[3]	Nadruk	Alt.[4]	Regio
1	Den Haag	Rotterdam	1102	1	21,4	spitsdrukte incl. forens	2	Randstad
2	Utrecht	Amsterdam	943	3	33,2	spitsdrukte incl. forens	2	Randstad
3	Rotterdam	Den Haag	891	4	21,4	spitsdrukte incl. forens	2	Randstad
4	Den Haag	Amsterdam	690	5	52,4	spitsdrukte incl. forens	2	Randstad
5	Hellevoetsluis	Rotterdam	617	7	23,3	forens	2	Randstad
6	Almere	Amstelveen	592	8	26,5	forens	2	Randstad
7	Leudal	Venlo	522	9	23,3	spitsdrukte incl. forens	2	Zuid NL-Limburg
8	Breda	Den Bosch[5]	501	10/22	44,0	spitsdrukte incl. forens	2	Zuid NL-Brabant
9	Amsterdam	Den Haag	498	11	52,4	spitsdrukte incl. forens	2	Randstad
10	Amsterdam	Utrecht	465	14	33,2	spitsdrukte incl. forens	1	Randstad
11	Den Bosch	Eindhoven	461	15	30,8	spitsdrukte incl. forens	1	Zuid NL-Brabant
12	Heemskerk	Amsterdam	439	16	22,7	forens	3	Randstad
13	Sluis	Terneuzen	411	19	27,0	spitsdrukte incl. forens	1	Zeeland
14	Noordoostpolder	Meppel	410	20	31,4	spitsdrukte incl. forens	1	Noord-NL
15	Apeldoorn	Arnhem	389	21	26,0	spitsdrukte incl. forens	1	Oost-NL
16	Aa en Hunze	Groningen	377	24	27,7	forens	2	Noord-NL
17	Helmond	Den Bosch[6]	368	26	30,8	forens	1	Zuid NL-Brabant
18	Gouda	Den Haag	319	34	29,0	forens	1	Randstad
19	Amsterdam	Zevenaar			112,0	lange afstand	1	West->Oost
20	Maasvlakte	Smele			173,0	lange afstand	1	West->Zuidoost
21	Harlingen	Schiphol			123,0	lange afstand	1	Noord->West
22	Nijmegen	Enschede			110,0	lange afstand	1	Oost->Noordoost

Opmerkingen:
[1] Alle autoverplaatsingen met woon/werk motief tijdens de ochtendspits tussen de betreffende gemeenten volgens het Landelijk Model Systeem (LMS) voor 2014. Hiervoor zijn de verplaatsingen van alle zones in gemeente A naar alle zones in gemeente B opgeteld. Stromen binnen gemeenten zijn niet meegenomen.
[2] De rangorde op het overzicht van de belangrijkste woon-werk autoverplaatsingen in de ochtendspits in 2014 volgens het LMS tussen gemeentes die tenminste 20 km van elkaar liggen.
[3] De gemiddelde euclidische afstand tussen alle LMS-zone-zone relaties in het gemeentepaar geven een indicatie voor de lengte van de routes. De daadwerkelijke gekozen alternatieven hebben verschillende lengtes, als aangegeven in Tabel 3.
[4] Alt. geeft het aantal routealternatieven aan per herkomst-bestemmingspaar. Voor de meeste combinaties is naast de hoofdroute een tweede, alternatieve route beschouwd en dus het getal 2 opgenomen.
[5] Aan het herkomst-bestemmingspaar Breda-Tilburg (rangnummer 10) is de combinatie Tilburg-Den Bosch (rangnummer 22) toegevoegd om een langere route te creëren. De flow heeft betrekking op het eerste deel van deze samengestelde route, de afstand op beide delen.
[6] Aan het herkomst-bestemmingspaar Eindhoven-Den Bosch (rang 26) is de herkomst Helmond toegevoegd om een langere route te creëren. De flow en afstand hebben betrekking op het oorspronkelijke bestemmingspaar.

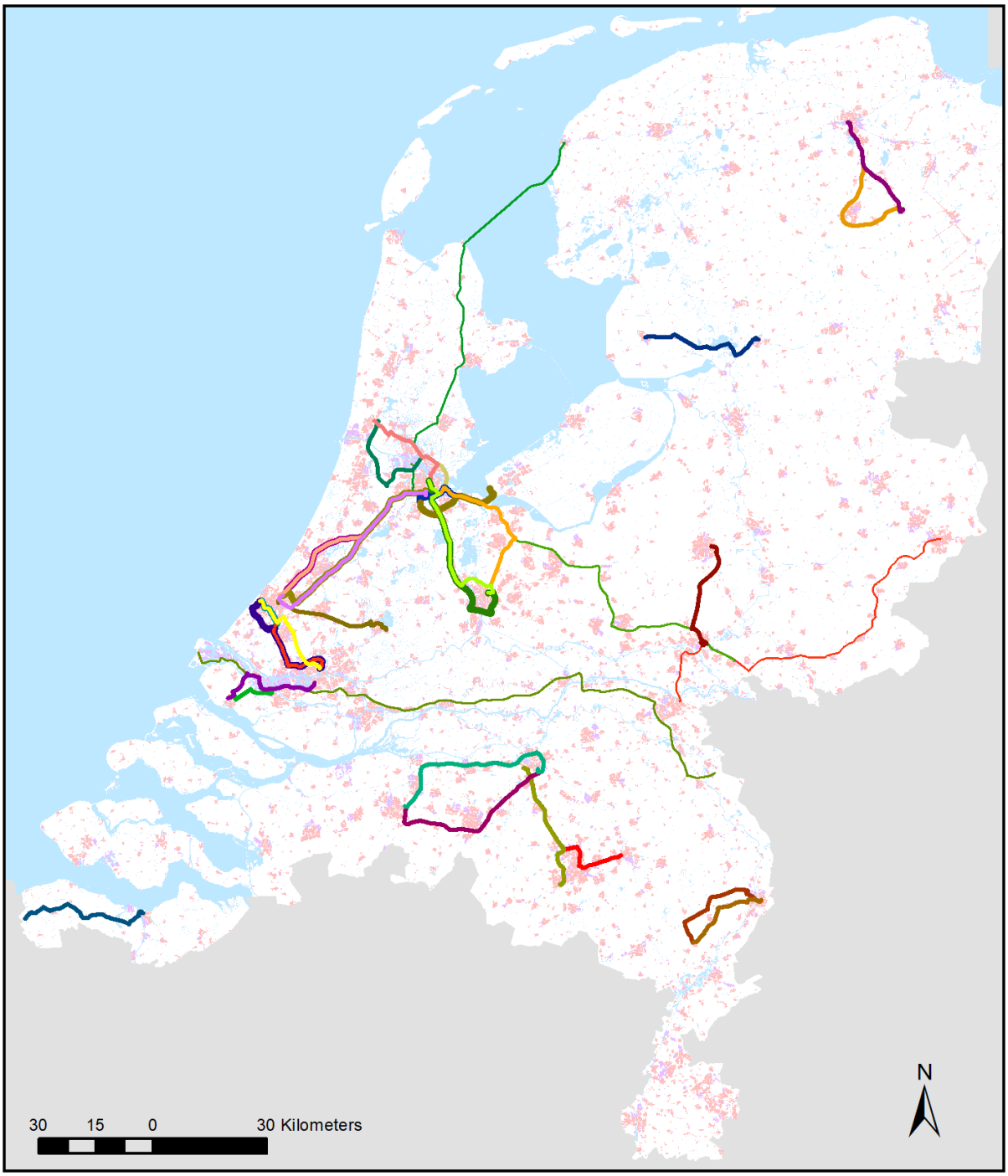
Tabel 1 geeft een overzicht van de 22 geselecteerde herkomst-bestemmingscombinaties. Het betreft 10 routes in de Randstad, 4 in zuid Nederland en 4 in overig Nederland. De kolom Rang maakt duidelijk dat bijna alle geselecteerde routes behoren tot de 25 drukste herkomst-bestemmings-combinaties. Uitzonderingen hierop vormen bijvoorbeeld de combinaties Almere-Amsterdam (rang 2) die is vervangen door Almere-Amstelveen om meer variatie in bestemmingen te krijgen en Dordrecht-Rotterdam (rang 6) die is vervangen door de deels overlappende route Hellevoetsluis-Rotterdam die meer gebruik maakt van overige wegen. De tabel bespreekt nog een paar andere afwijkingen van de basislogica in de routekeuze. In aanvulling op de 18 relatief korte routes van 20-50 km hebben we 4 routes van ongeveer 100 km geselecteerd die kenmerkend zijn voor lange afstand (vracht) verkeer.

De verschillende routes zijn gekenmerkt naar het soort verkeer dat daar op basis van de verbonden steden en achterland te verwachten is. We onderscheiden forensenroutes, waarvan is ingeschat dat ze vooral spitsdrukte kennen door woon-werk verplaatsingen; algemeen spitsdrukke routes, waarbij wordt verwacht dat drukte door meerdere reismotieven wordt veroorzaakt; en lange afstandsroutes, die specifiek zijn gekozen om in te zien hoe langere afstanden zich verhouden tot reistijdonbetrouwbaarheid van deur tot deur. De verwachte verkeerskenmerken per relatie zijn aangegeven in de kolom 'Nadruk'.

Selectie routealternatieven

Na het kiezen van de herkomst-bestemmingscombinaties op gemeenteniveau zijn vervolgens de routealternatieven gedefinieerd op wegniveau. Voor de keuze van de exacte herkomst en bestemming binnen de geselecteerde gemeenteparen hebben we niet de LMS-subzoneparen met de meeste trips gekozen omdat die waarschijnlijk relatief weinig gebruik maken van overige wegen. Dit zullen veelal de relatief dicht bij elkaar gelegen en goed verbonden subzones zijn zoals in eerder onderzoek bleek (Stępniak en Jacobs-Crisioni, 2017). In dit geval hebben we vooral getracht een substantieel stuk overige wegen toe te voegen en herkomst en bestemmingslocaties te vinden die met meerdere logische alternatieve routes verbonden zijn. Zo heeft route 1 (Den Haag-Rotterdam) twee alternatieven: via de A4 en via de A13. Voor veel van de 18 routes tot 50 km hebben we twee vergelijkbare, alternatieve routes kunnen vinden. Als precieze herkomst- en bestemmingspunten hebben we de weglocaties genomen waar het LMS netwerk de zone verbindingen aan het wegennetwerk koppelt.

Door de keuze voor herkomsten en bestemmingen die bereikbaar zijn via overige wegen kan de totale lengte van de alternatieven (zie Tabel 3) beduidend langer zijn dan de hemelsbrede afstanden tussen de centra van de bijbehorende LMS-subzones (Tabel 1). Daarmee is deze analyse kenmerkend voor relatief lange trips die over zowel snelwegen als overige wegen worden afgelegd. In totaal hebben we 34 unieke routes geselecteerd met een totale lengte van ongeveer 1700 km. Figuur 1 geeft een overzicht van de gekozen routes, terwijl gedetailleerder kaarten van de korte routes in de Randstad, Brabant en Noord-Nederland zijn opgenomen in Bijlage 2.



Figuur 1 Overzicht geselecteerde routes

3. Data en methode

3.1. Data

Vanaf 2017 beheert NDW floating car data die van BeMobile is aangeschaft. Deze data is beschikbaar als gemiddelde snelheid per minuut per wegsegment en samengesteld uit gps-locatiegegevens van verschillende bronnen zoals navigatiesystemen, mobiele telefoon applicaties en/of vlootmanagementsystemen (Felici, 2017). De segmenten hebben een uniforme verkeerssituatie (één maximumsnelheid en rijrichting, geen splitsingen etc.) en een maximale lengte van 50 meter (Uenk-T-elgen, 2018). De snelheid per segment is door BeMobile berekend als gemiddelde over alle waargenomen snelheden binnen een minuut, met de volgende aanvullingen:

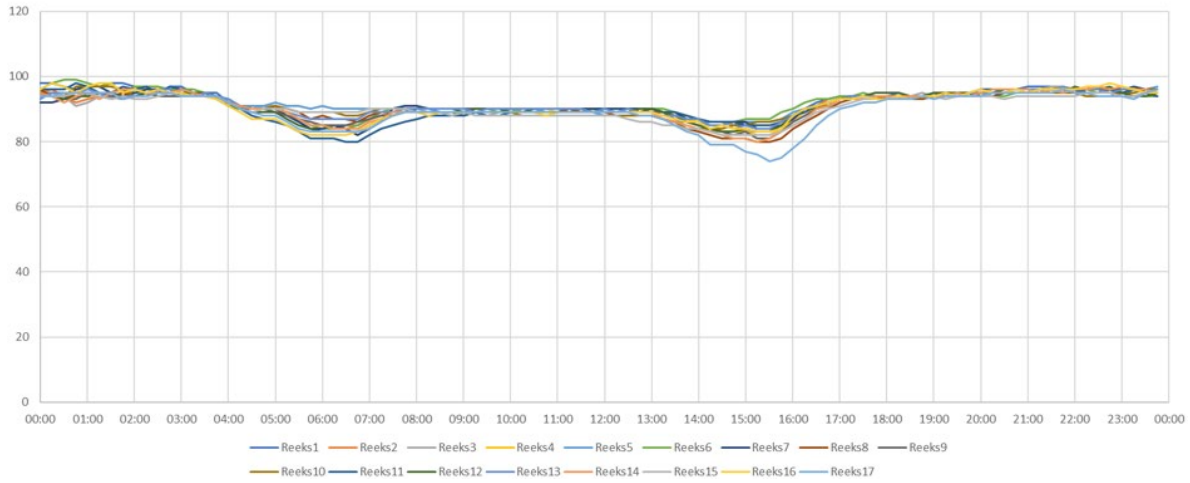
- bij minder dan 10 waarnemingen per minuut en segment wordt waarnemingen uit voorliggende meetminuten gebruikt totdat er totaal 10 waarnemingen zijn of er meer dan 30 minuten teruggekeken moet worden;
- waargenomen snelheden boven de maximumsnelheid worden afgekapt tot dat maximum voordat er gemiddeld wordt (Uenk-Telgen, 2018).

Per wegsegment worden dus alleen waargenomen snelheden gebruikt en geen veronderstelde snelheden, maar het kan wel zo zijn dat de gehanteerde snelheid (deels) betrekking heeft op een maximum van 30 voorliggende minuten. Aangezien dat vooral in de verkeersluwe situaties optreedt wanneer snelheden dicht tegen de free flow aan zullen liggen lijkt dat niet heel bezwaarlijk. Bij het ontbreken van voldoende metingen kan het echter incidenteel voorkomen dat een toevallig gemeten, afwijkende snelheid voor een half uur de gemiddelde snelheid beïnvloed zodat die niet meer representatief is voor de snelheden van het overige verkeer. Maar de voertuigen die de metingen leveren zullen over het algemeen met dezelfde snelheid rijden als het overige verkeer. Een bekende beperking van deze floating car data is dat ze op routes en tijdstippen dat de maximale snelheid regelmatig overschreden wordt een onderschatting van de daadwerkelijke snelheid opleveren (Uenk-Telgen, 2018) en daarmee dus een overschatting van de geschatte reistijd zullen genereren.

De floating car data van BeMobile is in principe beschikbaar voor het complete wegennetwerk van Nederland voor elke minuut sinds begin 2017. Om rekentechnische en inhoudelijke redenen is het bezwaarlijk de data over de hele periode te analyseren. Deels omdat de bestanden zeer omvangrijk zijn om op te slaan en te verwerken. Maar ook omdat we bij voorkeur extreme perioden (vakantie of slecht winterweer) willen uitsluiten en eerdere leveringen van de data op specifieke momenten incompleet bleken[2]. Daar komt bij dat de ruimtelijke representatie elke paar weken vernieuwd wordt om rekening te houden met veranderingen in het wegennet. Aangezien de interne codering van de segmenten daarmee verandert, moet voor elke nieuwe periode de selectie van tabelinformatie en combinatie tot aaneengesloten routes opnieuw uitgevoerd worden. Binnen het tijdsbestek van dit project was het slechts mogelijk om een enkele netwerkversie te analyseren. Na overleg met NDW is ervoor gekozen om alleen data van de meeste recente leveringen sinds september 2019 te gebruiken. We gebruiken in deze rapportage alle werkdagen uit **de periode 2 tot en met 24 september** en richten ons op de brede ochtendspits (06:00 tot 11:00) en brede middagspits (15:00 tot 20:00). Deze periode valt voor alle regio's in Nederland na de zomervakantie en komt overeen met een enkele versie van het wegennetwerk.

[2] Tijdens de pilotstudie bleken tijdens de piek van de spits relatief veel observaties van wegsegment-tijdstip combinaties te ontbreken. NDW gaf tijdens de voorbereiding van dit vervolgproject aan dat, dat destijds lag aan een overvloed aan meetgegevens waar de dataverwerking niet op berekend was. Dat zou in latere dataleveringen verholpen moeten zijn.

Bij wijze van illustratie geeft Figuur 2 voor een aantal wegsegmenten het dagelijks verloop van de rijsnelheden weer, gemiddeld over alle werkdagen in de analyse periode. In deze weergave is te zien dat de snelheden niet boven de maximumsnelheid (100 km/u) uitkomen en daar in de ochtend en middagspits beduidend onder liggen. Gedurende dag ligt de doorloopsnelheid op ongeveer 90 km/u.



Figuur 2 Voorbeeld van gemiddelde werkdag rijsnelheden van een aantal wegvakken over de tijd (aangeven in CET) waarin de ochtend en middagspits herkenbaar zijn aan hun lagere snelheden.

3.2. Methode analyse reistijdbetrouwbaarheid

In hoofdlijnen is de methodiek voor het berekenen van reistijden hetzelfde gebleven als in het pilotproject. Ruwe data die snelheden beschrijven in een vooraf bepaalde periode worden uit het zgn 'datalake' van NDW gevist. Lokaal wordt een selectie gemaakt van de wegsegmenten die deel uitmaken van de te analyseren routes. De relevante observaties worden voor elke dag in separate tekstbestanden (in .csv formaat) weggeschreven. In de pilotstudie heeft NDW die selectie gedaan, maar voor deze studie passen we een zelf ontwikkeld R-script toe. De tekstbestanden worden vervolgens gebruikt als invoer data in een analyse-omgeving die door de VU is ontwikkeld met behulp van de open-source GeoDMS software.

Het doel van de analyse omgeving is het verkrijgen van reistijden die representatief zijn voor de trips die in deze periode over de gekozen routes gemaakt zouden kunnen zijn. Die reistijden zijn niet gebaseerd op individuen die deze route van deur tot deur hebben afgelegd, maar een optelsom van de gemeten reistijden voor het rijden over de afzonderlijke segmenten waaruit de route bestaat. Doordat de tijd onderweg voortschrijdt, en reistijden verschillen per moment, zijn de beoogde reistijden van trajectoriën wezenlijk anders dan de optelsom van alle reistijden op alle betrokken segmenten op een specifiek moment. Dat compliceert de analyse en maakte de ontwikkeling van een eigen analyse omgeving nodig.

In technische termen is het probleem dat de analyse omgeving op moet lossen, het probleem dat de kortste reistijd moet worden gevonden over een aaneengesloten graaf, waarbij de weerstanden op elk segment veranderen per tijdstip van aankomst, en de precieze aankomsttijd op een specifieke graaf niet a priori bekend is. Technisch niet triviale beperkingen zijn dat de graaf maar in een richting mag worden overschreden en alleen vooruitgaan in de tijd mogelijk mag zijn. Verschillende oplossingsrichtingen zijn getest in het pilotproject en in dit project (zie Tabel 2). Die verschillende oplossingsrichtingen zullen in de volgende tekst kort beschreven worden.

Tabel 2 Verschillende toegepaste methodes om reistijden te berekenen voor een unieke route-vertrektijdstip combinatie.

Methodiek	Dynamisch parameter	Statische netwerken	Dynamisch array
Wanneer gebruikt	Pilot studie 2017	December 2019	April 2020
Algoritme	Dynamische methode	A-priori gedefinieerde tijd-ruimte specifieke segmenten	Dynamische methode
GeoDMS functie[1]	Iteratieve loop	Dijkstra_m	Iteratieve loop
Organisatie snelheidsdata	Ad-hoc zoeken naar juiste (segment, tijd) coördinaat	Ex-ante geïndexeerd in grid (segment op x, tijd op y)	
Aanroepen[2]	300	1	1
Afrondingsfouten	Nee	Ja	Nee
Validatie[3]	Handmatig traceren van verloop vanaf een vertrekmoment	Accurate replicatie van reistijden uit dynamisch parameter methode	Accurate replicatie van reistijden uit statische netwerken methode

Opmerkingen:
[1]De oplossingsmethodiek waarvan gebruik is gemaakt in de GeoDMS analyse omgeving.
[2]Het aantal separate aanroepen dat nodig is om een volledig tijdvak van 5 uur (dus 300 meetmomenten) door te rekenen.
[3]De manier waarop de correctheid van de methodiek is geverifieerd.

3.2.1 Oplossingsmethode "dynamisch parameter"

In het pilotproject is de analyse omgeving opgezet als een dynamisch analyse, waarbij een algoritme over de route heen 'loopt' en per segment beoordeelt wat het ingangstijdstip is, hoe lang het vanaf dat ingangstijdstip zou duren om over het segment heen te rijden, en wat dan het tijdstip is waarop het segment wordt verlaten. Voor elk segment, voor elk ingangstijdstip, zocht de methodiek de bijpassende reissnelheid uit de in tekstbestanden georganiseerde data. Voor meerdere vertrekmomenten is handmatig, steekproefsgewijs, de berekening voor een serie opeenvolgende segmenten geverifieerd door haar handmatig te herhalen; ook zijn de totale reistijden vergeleken met de reistijden geschat door een online routeplanner.

3.2.2 Oplossingsmethodiek "Statische netwerken"

De methode in het pilotproject was betrekkelijk inefficiënt, wat leidde tot behoorlijk lange doorrekentijden. In een eerdere versie van dit rapport is daarom gewerkt met een methode waarbij een route werd vertaald in een statisch netwerk waarbij voor elk segment in een pad, voor elke 100 milliseconde, een eigen graaf werd gemaakt. Met behulp van de in GeoDMS aanwezige en bijzonder efficiënte algoritmes voor het vullen van reistijdmatrices, werden vervolgens voor een route de reistijden gezocht voor alle relevante vertrektijden. Daarnaast zijn er methoden geïntroduceerd waarmee de reistijddata voor een route a priori wordt gesorteerd in een grid in het werkgeheugen, met in horizontale richting de volgorde van segmenten in een pad, en in verticale richting de tijd op de dag.

Om er zeker van te zijn dat de berekeningswijze met statische netwerken dezelfde resultaten opleverde als de eerdere methode op basis van het dynamisch zoeken van een oplossing, is deze allereest toegepast op de data voor de route Oudewater-Rotterdam uit het pilotproject. De berekende reistijden voor de opnieuw berekende dag (1 juni 2017) lagen in dezelfde range (31 tot 78 minuten) en weken slechts marginaal af door afrondingsverschillen. Onze conclusie was dat de nieuwe methode geen problematische afwijkingen vertoonde met de oude methode, zodat de statische netwerk-methode veilig gebruikt kan worden.

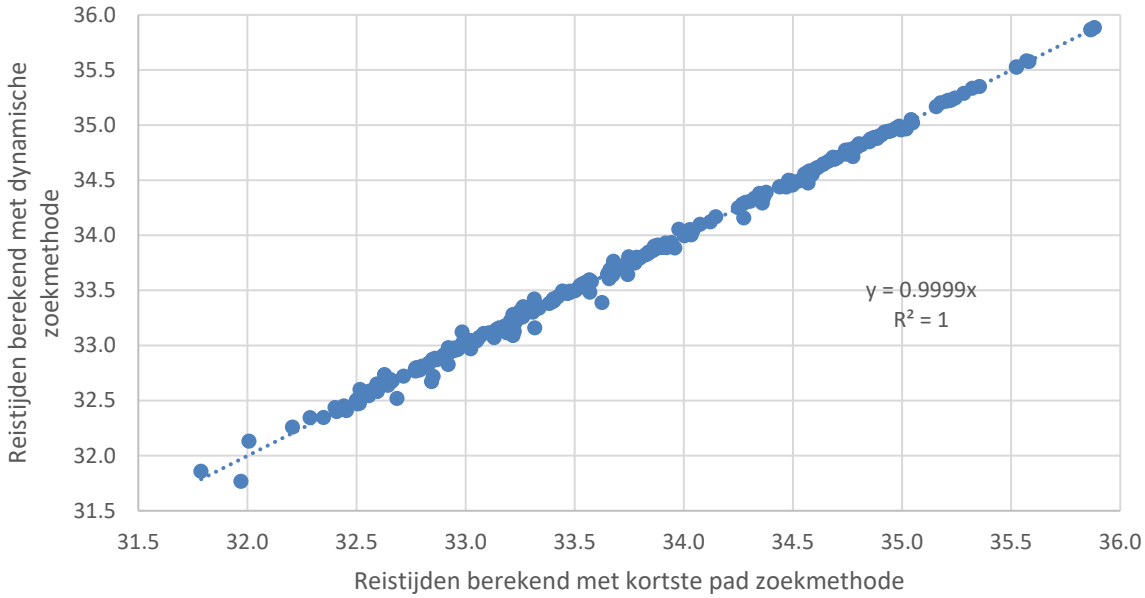
Ten opzichte van het pilotproject leverde het creëren van tijd- en locatie- expliciete netwerken een substantiële tijdwinst op, maar door de opzet van de methodiek was de geheugenbelasting te groot bij heel lange routes (meer dan de 128GB RAM op de reken-PC die de auteurs ter beschikking staat).

Bovendien werden door de methodiek kleine afrondingsfouten geïntroduceerd in de resultaten en waren observaties aan het eind van een analyse-tijdvak voor een deel geschat op basis van de laatst geobserveerde snelheidsgegevens, doordat alleen voor het gedefinieerde tijdvak graven werden gecreëerd.

3.2.3 Oplossingsmethodiek "dynamisch array"

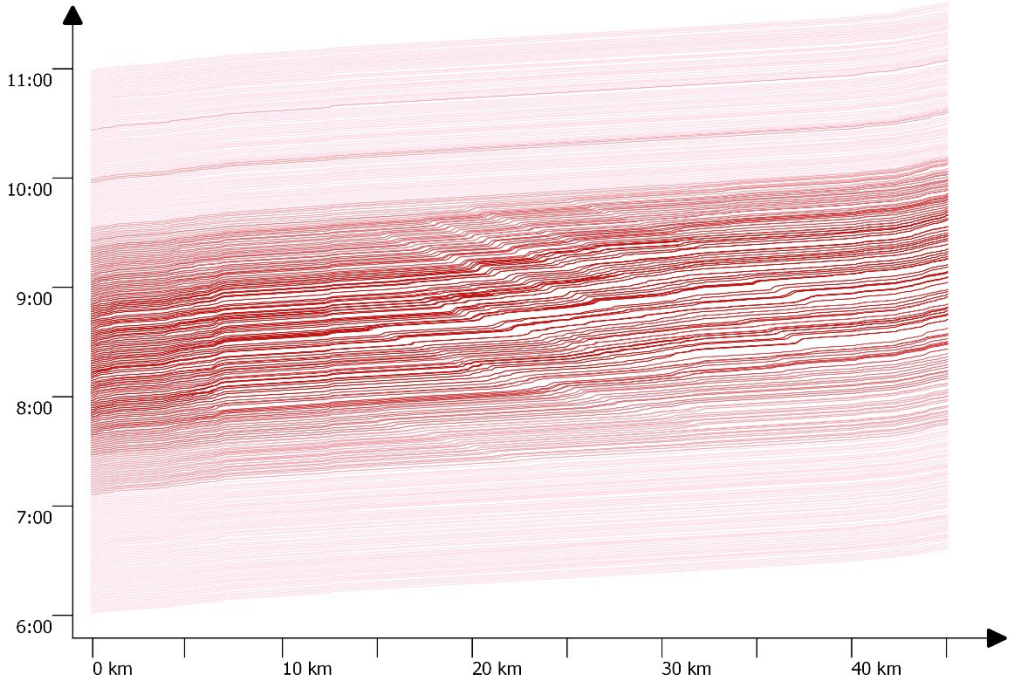
Voor deze studie is de betreffende analyse-omgeving wederom aangepast. Zij werkt nu weer op een dynamische wijze, zoals in het pilotproject, waarbij voor elk segment in een route een serie verwerkingsregels dynamisch wordt gedefinieerd. Door een aantal recente wijzigingen in GeoDMS en in de scripts is het toch mogelijk gebleken de dataverwerking bijzonder snel te doen met deze dynamische methode. De makers van GeoDMS hebben onlangs de grootte van de zogenaamde opdrachtenstack vergroot, waarmee nu reistijdproblemen met een zeer groot aantal segmenten dynamisch kunnen worden opgelost; geschat wordt dat ook routes met 10.000 segmenten zonder problemen kunnen worden doorgerekend (de langste route geanalyseerd in dit rapport, tussen de Maasvlakte en Smele, bestaat uit ruwweg 3.600 segmenten). De dynamische methodiek waarmee reistijden worden berekend is ook aangepast. Deze werkt nu niet meer op basis van een volledige reeks per vertrektijd, maar op basis van een zogenaamd array van vertrektijden, zodat simultaan, voor elke link, de progressie van de tijd wordt doorberekend voor alle geselecteerde vertrektijden. Met dank aan de genoemde verbeteringen is de doorlooptijd opnieuw sterk verbeterd; het kost nog maar enkele uren om alle reistijden te berekenen voor de ochtend- en middagspits.

Om te verifiëren dat de opnieuw geïntroduceerde dynamische methode betrouwbaar is, hebben we voor een willekeurige dag en route de resultaten van deze methode vergeleken met de resultaten van de statische netwerken methode. Door grote veranderingen in het datamanagement bleek vergelijking met de dynamisch parameter methodiek te bewerkelijk. In Figuur 3 is duidelijk te zien dat de afwijkingen tussen de methodes bijzonder klein zijn. De gevonden afwijkingen zijn waarschijnlijk toe te schrijven aan de noodzakelijke afrondingen in de statische netwerken methode. Een uitzondering betreft de tijdstippen vanaf 10:24, wanneer de reistijden in de oude methode deels geschat moesten worden op basis van de laatst geobserveerde reistijden op segmenten. In de nieuwe methode gebeurt dat niet, wat logischerwijs tot afwijkingen leidt in de resultaten. Die latere tijdstippen zijn daarom weggelaten uit de figuur.



Figuur 3 Reistijden op de route Utrecht – Amsterdam (2a) op zondag 2 september tussen 6:00 en 10:24 berekend met statische netwerken (rapport versie December 2019) en met de huidige dynamische methode.

De nieuwe berekeningswijze genereert aparte bestanden voor de in de tijd opeenvolgende, afgelegde routes waarin de verstreken reisduur voor de verschillende wegsegmenten wordt vastgelegd. Dat heeft als bijkomend voordeel dat deze afzonderlijk weergegeven kunnen worden om visueel te beoordelen of de reistijd zich op een realistische manier opbouwt. Als voorbeeld daarvan toont Figuur 4 het verloop van achtereenvolgende reizen op de route Utrecht - Amsterdam (pad 2a) gedurende de ochtendspits van 3 september 2019, vanaf 06:00. De figuur geeft aan dat het eerste deel van de reis gelijkmatig verloopt en er in de loop van de spits een behoorlijke vertraging opbouwt na 30 kilometer van de route, die zich in golven richting herkomst verplaatst met het verstrijken van de tijd.



Figuur 4 Weergave van het reisverloop op de route Utrecht – Amsterdam (2a) gedurende de ochtendspits van maandag 2 september 2019, bij steeds later vertrek in de ochtendspits vanaf 6:00h. De kleurtoon van de lijnen geeft de totale reistijd van een trip weer, waarbij donkerdere lijnen een relatief lange reistijd aangeven.

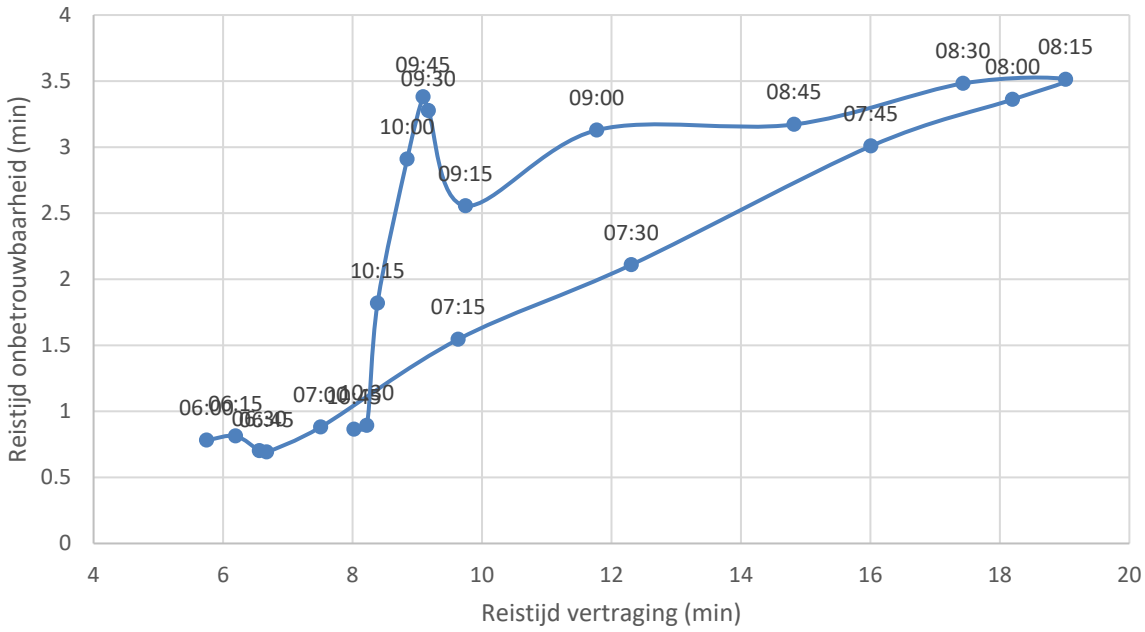
3.2.4 Berekenen verwachting, vertraging en onbetrouwbaarheid

Na het berekenen van reistijden per vertrekminuut zijn de resultaten geaggregeerd tot enkele observaties per kwartier, zodat elke geanalyseerde route 20 datapunten heeft in de ochtendspits en nog eens 20 in de middagspits. Bij de berekening van reistijdverwachting, vertraging en onbetrouwbaarheid zijn in alle gevallen de definities gebruikt zoals die worden besproken in Kouwenhoven en Bel (2014), met de kanttekening dat Kouwenhoven en Bel één vertrektijd meten per kwartier, en in dit rapport is gemeten met vertrektijden per minuut tussen 06:00 en 11:00 en tussen 15:00 en 20:00. We duiden deze vertrektijden aan met $RT_{i,m}$ voor werkdag *i*, minuut *m*. Op basis van RT is de totale standaardafwijking te meten als $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (RT_i - \overline{RT})^2}$. Met ook $\overline{RT_k}$, de gemiddelde reistijd per kwartier *k*. De extreme waarnemingen zijn vervolgens verwijderd op basis van het criterium $RT_{i,m} > max(\overline{RT_k} + 3\sigma, 1.5\overline{RT_k})$, zodat alle afzonderlijke waarnemingen die groter zijn dan de gemiddelde reistijd op het kwartier, plus drie standaarddeviaties, en groter zijn dan anderhalf keer de reistijd op dat kwartier, worden verwijderd. Vanwege het beperkte aantal dagen dat geanalyseerd is voor dit rapport is besloten om niet hele dagen, maar alleen die gemeten minuten te verwijderen die volgens het gestelde criterium een extreme waarneming vormen. Op deze manier blijven de andere observaties op een dag behouden.

Na verwijderen van extreme gebeurtenissen houden we een subset O over van minuten *o* waarin geen extreme gebeurtenissen hebben plaatsgevonden. Op basis van die subset wordt een reguliere

reistijdverwachting geformuleerd, $\overline{RT}_{i,k}^{regulier}$, te weten de gemiddelde reistijd voor een specifiek kwartier *k* voor een specifieke werkdag *i.* De reistijd is hier dus berekend zoals die door behoorlijk goed geïnformeerde reizigers ervaren wordt en die variatie verwachten in reistijden per kwartier per dag van de week. Een kanttekening is hier belangrijk. Kouwenhoven en Bel meten de reistijdverwachting als een zwevend gemiddelde voor een kwartier over de 4 voorgaande en 4 daaropvolgende identieke weekdagen (bijvoorbeeld, voor 10:00 tot 10:15 op dinsdag 3 september, de gemiddelde reistijden bij vertrek tussen 10:00 en 10:15 op 6, 13, 20 en 27 augustus, en op 10, 17, 24 september en 1 oktober). In deze studie zijn hiervoor onvoldoende observaties beschikbaar, zodat we noodgedwongen de reistijdverwachting voor een kwartier op een bepaalde weekdag meten over alle geobserveerde zelfde werkdagen (ongeacht of ze voor of na die dag vallen); dus in het voorbeeld van 3 september meten we de reistijdverwachting als het gemiddelde van 3, 10, 17 en 24 september.

Op basis van de niet-extreme gebeurtenissen is vervolgens de reguliere reistijd onbetrouwbaarheid te berekenen, namelijk $\sigma_k^{regulier} = \sqrt{\frac{1}{O-1} \cdot \sum_{o=1}^{O} (RT_{i,o} - \overline{RT}_{i,k}^{regulier})^2}$. De verwachte reistijd-vertraging voor een kwartier is zo ook te berekenen als $D_k = \overline{RT}_{i,k}^{regulier} - T^{freeflow}$, waarbij $T^{freeflow}$ is gemeten als de som van free flow reistijden voor elk afzonderlijk segment dat deel uitmaakt van een route. Freeflow reistijden zijn bepaald op basis van het 95^e percentiel van snelheden die zijn geregistreerd op een segment in het geanalyseerde tijdvak. Waar geen registraties beschikbaar zijn is de maximumsnelheid aangehouden. Een voorbeeld van het verloop van reistijd onbetrouwbaarheid ten opzichte van reguliere vertraging is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Het gemiddelde verloop van de ochtendspits op route 2a (Utrecht-Amsterdam) voor werkdagen in de periode 2-24 September 2019. De X-as geeft de gemiddelde reistijdsvertraging per opeenvolgend 15-minuut tijdvak weer ten opzichte van de kortst mogelijke reis (de som van free-flow reistijden van alle links); de Y-as de reistijd-onbetrouwbaarheid (standaarddeviatie) in minuten.

In deze figuur is sprake van aan asynchroon spitsverloop: bij gelijke vertraging is de onbetrouw-baarheid na de piek van de spits groter dan ervoor. Datzelfde beeld zagen we ook in de pilot-studie en lijkt ook bij enkele andere forensenroutes op te treden (zie bijvoorbeeld routes 6, 16 en 18 in Bijlage 1). In het volgende hoofdstuk komen we hier kort op terug.

4. Resultaten

In deze rapportage gaan we nader in op de reistijdbetrouwbaarheid van 34 routealternatieven met een lengte tussen 25 en 168 km voor 18 verschillende herkomst-bestemmingscombinaties (Tabel 3). De meeste routes bestaan grotendeels uit autosnelweg (gemiddeld ongeveer 70%) maar lokaal verschilt dat sterk. Twee routes bestaan geheel uit overige wegen.

Tabel 3 Lengte (km), mediaan reistijd (minuten) en mediaan snelheid (km/uur) van de geselecteerde routes uitgesplitst per wegtype.

Route	Lengte	Autosnel-weg deel	Overige wegen	Free flow reistijd[1]	Med. reistijd autosnelweg[2]	Med. reistijd overige wegen[2]	Med. snelheid autosnelweg	Med. snelheid overige wegen
1a	29,7	17,1	12,6	27,1	12,2	25,7	84,1	29,6
1b	33,3	13,9	19,4	28,6	10,3	28,7	80,5	40,6
2a	44,9	30,4	14,5	29,7	19,8	18,3	92,0	47,4
2b	50,3	44,5	5,9	32,2	27,2	9,8	98,0	36,0
3a	35,7	12,6	23,1	31,3	9,7	30,9	78,1	44,8
3b	33,0	14,3	18,7	28,5	11,0	28,0	78,1	40,0
4a	56,3	52,7	3,6	32,9	35,3	6,8	89,6	31,9
4b	53,6	49,2	4,4	33,9	32,2	7,2	91,6	36,5
5a	31,7	25,6	6,1	23,3	18,3	9,1	83,9	40,3
5b	27,9	9,5	18,4	23,2	6,8	21,6	84,7	51,2
6a	28,6	23,5	5,1	20,7	15,3	8,3	92,2	37,0
6b	28,1	21,4	6,6	21,4	14,0	11,2	91,5	35,7
7a	25,3	0,0	25,3	21,7	0,0	27,5	n.v.t	55,3
7b	32,8	11,5	21,3	23,8	7,2	23,1	96,3	55,3
8a	52,4	50,7	1,7	29,3	30,3	2,8	100,4	37,0
8b	49,7	47,7	2,0	29,9	32,5	3,2	88,0	37,3
9a	54,2	51,4	2,8	32,7	33,7	4,8	91,6	35,3
9b	51,7	49,0	2,8	32,7	33,6	4,7	87,5	35,3
10	51,4	45,7	5,7	32,7	28,9	10,5	94,8	32,8
11	37,0	32,0	5,1	22,5	19,6	6,6	97,9	45,9
12a	27,9	14,2	13,7	23,6	9,4	17,6	90,5	46,8
12b	45,0	38,4	6,6	28,3	24,7	8,7	93,1	45,0
12c	36,9	24,1	12,9	28,9	15,4	18,4	93,7	41,8
13	39,0	18,8	20,2	31,2	13,2	21,8	85,6	55,7
14	36,0	0,0	36,0	29,3	0,0	34,1	n.v.t	63,2
15	33,5	29,9	3,6	20,0	18,3	5,4	98,4	39,6
16a	30,7	12,3	18,3	20,0	7,5	16,5	98,5	66,6
16b	49,0	44,5	4,6	28,7	25,2	7,3	105,9	37,4
17	46,0	27,1	18,9	29,7	15,2	19,1	107,2	59,2
18	34,8	25,6	9,2	24,7	15,6	14,7	98,2	37,6
19	120,3	118,7	1,7	66,8	69,9	2,4	101,9	42,0
20	168,1	142,4	25,7	93,7	85,5	18,9	100,0	81,5
21	123,0	122,0	1,0	68,1	76,3	1,3	96,0	45,3
22	108,0	58,4	49,6	71,0	39,0	42,7	89,9	69,7

[1]De free flow reistijd in minuten) is bepaald als som van de van de 5^{e} percentiel reistijden van alle afzonderlijke wegvakken waargenomen over de hele periode.
[2]Mediaan reistijden zijn bepaald op basis van de brede ochtendspits.

Het onderscheid in wegtype is gebaseerd op een door RWS aangeleverde shapefile van autosnelwegen. De ruimtelijke weergave van de RWS wegsegmenten komt niet exact overeen met

de via NDW verkregen ruimtelijke weergave van wegsegmenten waaraan de floating car data gekoppeld is. In een eerste stap is daarom een voorselectie gemaakt van NDW wegsegmenten binnen 500 meter van een RWS autosnelweg-segment. Vervolgens is van die selectie bepaald welk van de NDW wegsegmenten het dichtst bij een van de RWS autosnelweg-segmenten ligt. Dit is gedaan door middel van het berekenen van afstanden tussen de middelpunten van geselecteerde NDW segmenten en zogenaamde dynamic points van de RWS segmenten. Het NDW segment met de kortste afstand tot een specifiek segment van de RWS autosnelweg is vervolgens gemarkeerd als autosnelweg. Vervolgens is handmatig gecontroleerd of de koppelingsactie correct is uitgevoerd, en is deze waar nodig gecorrigeerd.

De mediaan snelheden (berekend op basis van de mediaan reistijden) op de snelwegen en overige wegen liggen in een realistische range. Op de snelwegen ligt deze tussen 78 km/uur (tussen Rotterdam en Den Haag, met een belangrijk stuk van de route via de A20 waar de maximumsnelheid 80 km/u is) en 111 km/uur (in Brabant waar maximumsnelheden tot 130 km/uur golden). Op de overige wegen ligt de mediaan snelheid tussen de 30 km/uur (bij veel bebouwde kom) en 60 km/uur (bij veel provinciale wegen). Een uitzondering is de lange route 20, waar de mediaan snelheid op de overige wegen zelfs iets boven de 80 km/u ligt.

4.1. Missende observaties

Net als in de pilotstudie ontbreken in deze studie voor een deel van de wegsegment-minuut combinaties snelheidswaarnemingen (Tabel 4). Voor die ontbrekende data is de freeflow snelheid aangehouden, dat wil zeggen het 95^{e} percentiel van alle geregistreerde snelheden in de periode van 2 tot 24 september over de gehele dag. Aangezien missende data waarschijnlijker voorkomt op rustige momenten, en gemeten snelheden mogelijk al deels een half uur oud zijn, lijkt free flow ons een betrouwbaarder schatting dan een gemiddelde uit recente observaties. In nog uitzonderlijker gevallen is er voor een segment in het geheel geen snelheid geregistreerd. Voor die gevallen is de vigerende maximumsnelheid aangehouden.

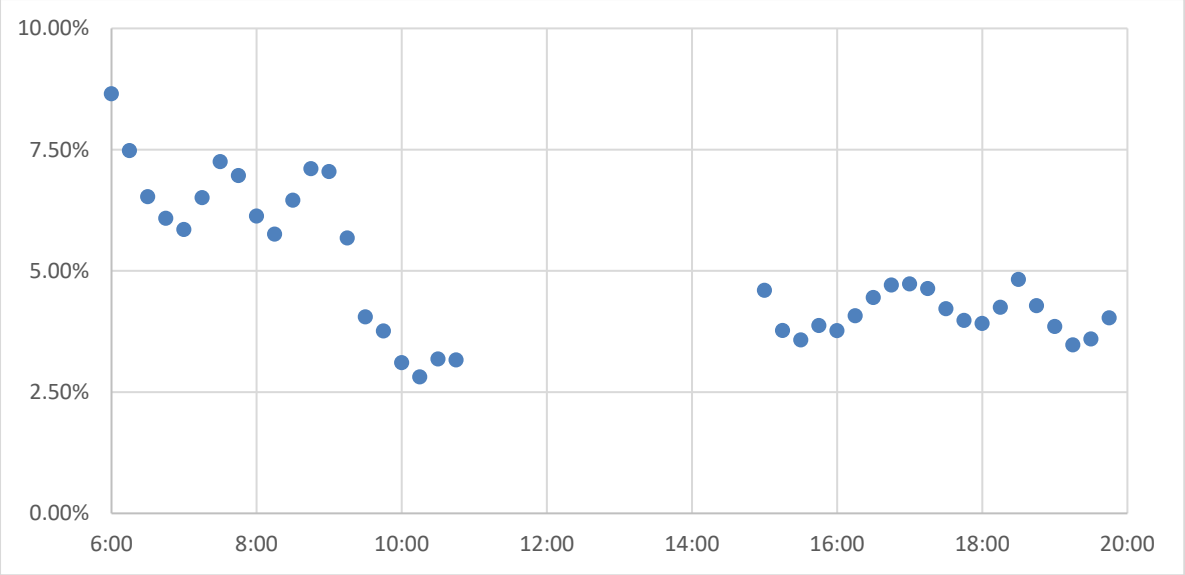
Het aandeel missende observaties ligt in deze studie gemiddeld rond de 5% voor de ochtendspits en 3% voor de middagspits, waar het voor de twee ochtendspitsroutes in de pilotstudie 3,5% en 6,6% was. De variatie tussen de onderzochte routes is echter aanzienlijk en het aandeel missende observaties is relatief hoog voor de routes aan de zuidelijke rand van Nederland (routes 7a en 13 in respectievelijk Zeeland en Limburg). Daarbij zijn er relatief meer missende observaties op routes met betrekkelijk veel onderliggende wegennet (bijvoorbeeld route 1b, 3a, 7a en 14). Dit komt zeer waarschijnlijk door de lagere hoeveelheid verkeer in deze gebieden en op de overige wegen. De lagere verkeersintensiteit vermindert de kans dat gegevens over deze weggebruikers in de applicaties zijn opgenomen waarmee snelheidsinformatie wordt verzameld. Overigens doet dit fenomeen doet zich niet op alle routes met een groter aandeel overige wegen voor (zie bijvoorbeeld 3b en 5b). Dat binnen het gehele ochtend- of middagspitstijdvak waarnemingen voor een segment ontbreken komt slechts zeer incidenteel voor.

Anders dan in de pilotstudie vinden we dit keer geen toename in missende observaties tijdens de piek van de spits. Bij navraag bleek dat er destijds problemen optraden bij de dataleverancier met de verwerking van grote hoeveelheden waarnemingen. Dat probleem is ondertussen opgelost. Figuur 6 toont per geobserveerd kwartier, over alle routes, het gemiddelde deel van berekende reistijden dat is geschat omdat relevante observaties ontbreken. Uit die grafiek volgt duidelijk dat observaties nu vooral vroeg in de ochtend missen, wanneer er klaarblijkelijk nog weinig verkeer op weg is. Opmerkelijk is verder het grotere aantal missende observaties in ochtendspits ten opzichte van de middagspits. Dit wordt mogelijk verklaard doordat er meer verkeer is in de middagspits, of doordat belangrijke applicaties waarmee data worden verzameld en die gebruikers informeren over routes en snelheidscontroles een grotere behoefte vervullen in de middag. Bijvoorbeeld omdat in de

middag de mix van motieven groter is en de geïnformeerdheid van bestuurders met betrekking tot hun route wat lager is bij typische middag motieven.

Tabel 4 Aandeel segmenten met missende observaties in totaal van alle wegsegment-tijdstip combinaties per route (gevuld met harmonische tijdvakgemiddelden van snelheden) en aandeel segmenten waarvoor snelheidsinformatie voor de hele periode ontbrak (gevuld met behulp van maximumsnelheden), op alle dagen en tijdens alle momenten in de geanalyseerde periode.

Route	Missende observaties ochtendspits	Missende observaties middagspits	Geen observaties hele tijdvak
1a	5,15%	2,07%	0,00%
1b	7,47%	5,40%	0,00%
2a	3,72%	1,75%	0,00%
2b	3,95%	2,00%	0,00%
3a	7,79%	5,40%	0,30%
3b	4,24%	2,04%	0,00%
4a	3,92%	1,79%	0,00%
4b	3,87%	1,78%	0,00%
5a	3,97%	2,44%	0,00%
5b	4,05%	2,49%	0,00%
6a	4,32%	2,17%	0,00%
6b	4,66%	2,24%	0,00%
7a	10,91%	5,66%	0,00%
7b	4,59%	2,25%	0,00%
8a	3,80%	1,75%	0,00%
8b	3,83%	1,77%	0,00%
9a	4,32%	1,93%	0,00%
9b	4,27%	1,91%	0,00%
10a	3,85%	1,78%	0,00%
11a	3,77%	1,75%	0,00%
12a	4,15%	3,20%	0,00%
12b	3,90%	2,08%	0,00%
12c	4,05%	2,84%	0,00%
13	19,83%	16,66%	0,00%
14	8,49%	2,69%	0,00%
15	3,73%	1,75%	0,00%
16a	6,31%	4,34%	0,00%
16b	5,41%	3,45%	0,00%
17	3,71%	1,76%	0,00%
18	4,67%	2,56%	0,00%
19	3,81%	1,88%	0,00%
20	3,94%	1,98%	0,00%
21	3,84%	1,90%	0,00%
22	3,93%	1,76%	0,00%
Gemiddeld	*5,18%*	*2,92%*	*0,01%*



Figuur 6 Gemiddeld percentage van het deel van de berekende reistijden van de routes waarvan de snelheden zijn gebaseerd op een schatting, doordat snelheidsobservaties op het relevante meetmoment ontbreken.

4.2. Reistijdonbetrouwbaarheid

In Bijlage 1 worden de belangrijkste resultaten per route getoond. De resultaten beschrijven de gemiddelde reistijdonbetrouwbaarheid per 15-minuten tijdvak in de ochtend- en middagspits voor de gehele route en de afzonderlijke autosnelweg- en overige wegdelen, afgezet tegen de gemiddelde vertraging. De plots geven op de y-as absolute gemiddelde reguliere onbetrouwbaarheid, en op de x-as de gemiddelde reguliere vertraging. Die is, als eerder aangegeven, gedefinieerd als het aantal minuten dat een route op een gegeven weekdag en kwartiertijdvak gemiddeld langer duurt dan de som van de free-flow reistijden van alle segmenten op de route.

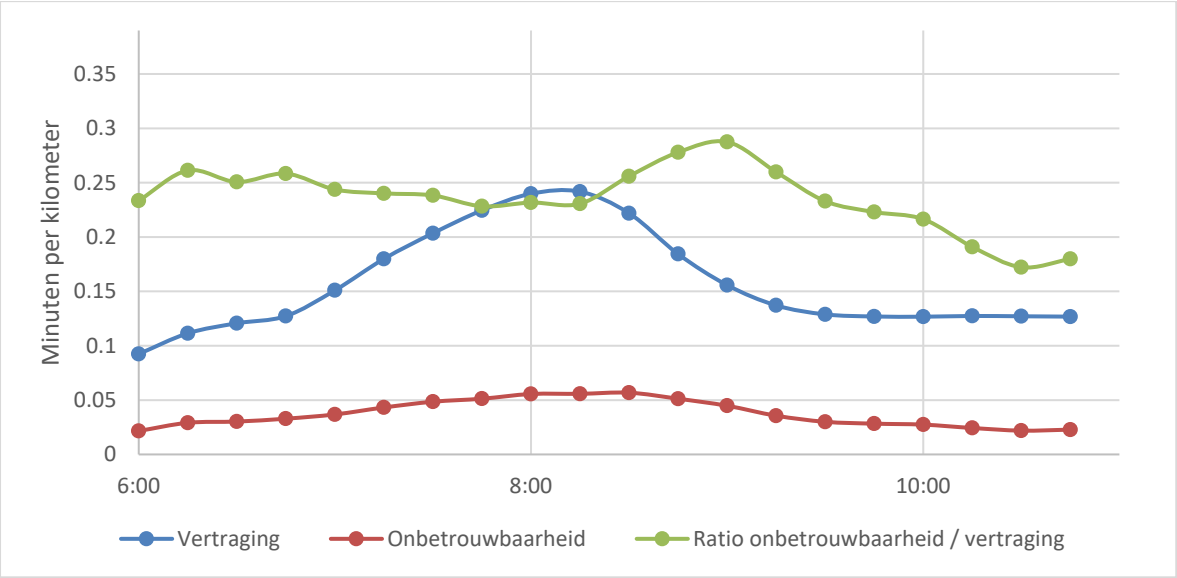
De y-as geeft de standaardafwijking van alle geobserveerde reistijden. Om de volledige variatie in daadwerkelijk ervaren vertraging te beschrijven is er hiervoor gekozen om de resultaten per route te tonen in absolute waardes in plaats van in de relatieve vertraging en relatieve standaardafwijkingen zoals in de pilotstudie. Voor de verdere, generaliserende vergelijkingen die hieronder beschreven worden is wel gebruik gemaakt van vertragingen ten opzichte van de op een route kortst waargenomen reistijd.

De weergave van het reistijdverloop van de individuele routes geven aan dat de onbetrouwbaarheid van reistijd vaak gelijk oploopt met de gemiddelde vertraging. Deze relatie is zichtbaar op alle routes en geldt zowel autosnelwegen als overige wegen. Uitzondering hierop zijn de routes waar slechts een heel kort deel van de route over een van beide wegtypen wordt afgelegd. Ook tijdens de middagspits voor specifieke routes die een typische ochtendspits kennen vinden we een beperkte vertraging en onbetrouwbaarheid.

4.2.1 Reistijdonbetrouwbaarheid ochtendspits

In Figuur 7 is aangegeven hoe, gemiddeld over alle onderzochte routealternatieven, vertraging en onbetrouwbaarheid zich ontwikkelen tijdens de brede ochtendspitsperiode. Om de verschillende routes, die verschillen in lengte, onderling vergelijkbaar te maken worden vertraging en onbetrouwbaarheid uitgedrukt in minuten per kilometer. Uit het figuur is duidelijk dat de ochtendspits gemiddeld de grootste vertraging en de grootste onbetrouwbaarheid vertoont bij vertrek rond 8 uur. Reistijdonbetrouwbaarheid lijkt daarbij iets eerder te pieken dan vertraging. De verhouding tussen onbetrouwbaarheid en vertraging piekt licht nadat reguliere vertragingen minder

worden. Dit bevestigt de waarneming bij Figuur 5 dat de onbetrouwbaarheid na de piek van de spits iets groters is dan daarvoor. Dit effect is beperkt, maar zou kunnen duiden op minder gelijkmatige verkeersstromen na de spitspiek, of op de variabele duur van effecten van verstoringen tijdens die piek (files die de ene dag makkelijker oplossen dan de andere).



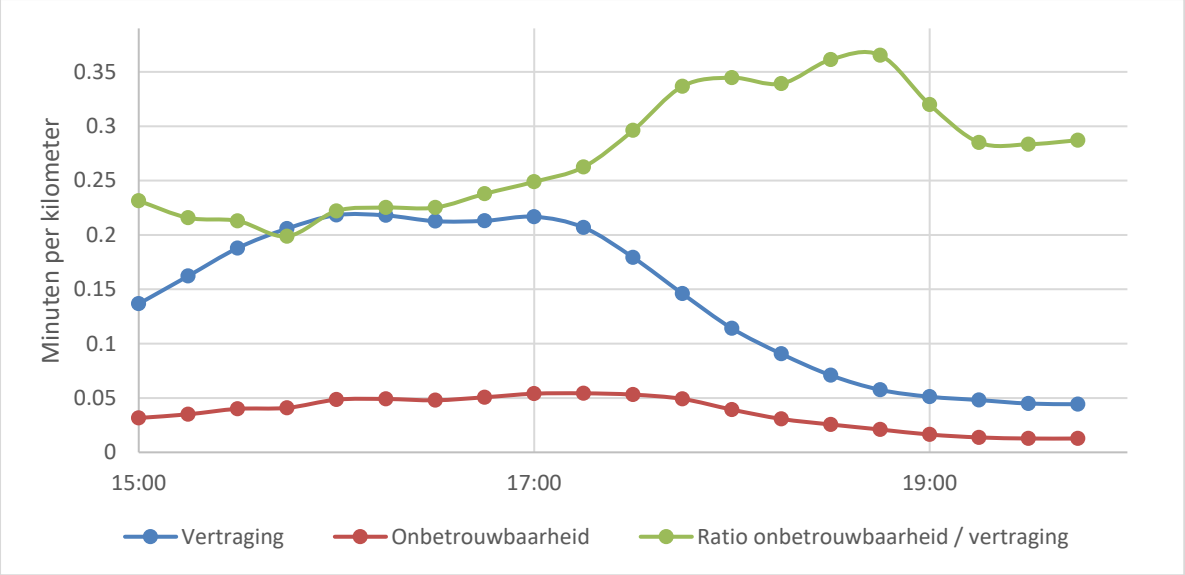
Figuur 7 Gemiddeld verloop van vertraging en onbetrouwbaarheid (beiden in minuten per kilometer) voor alle routes in de ochtendspits.

4.2.2 Reistijdonbetrouwbaarheid middagspits

In Figuur 8 is aangegeven hoe, gemiddeld over alle onderzochte routes, vertraging en gerelateerde onbetrouwbaarheid zich ontwikkelen tijdens de brede middagspits. Hierbij is het belangrijk te vermelden dat de gekozen routes primair zijn gekozen op drukte tijdens de ochtendspits. Het valt dus te verwachten dat de middagspits minder druk zal zijn. Evengoed zijn sommige routes betrekkelijk symmetrisch in verkeersdrukte (bijvoorbeeld de route Den Haag – Rotterdam dat is opgenomen als route 1 en in omgekeerde richting fungeert als route 3), zodat voor een deel van de routes te verwachten is dat de middagspits ook betrekkelijk druk zal zijn.

Uit de figuur blijkt dat de gekozen routes gemiddeld genomen een iets minder grote vertraging hebben in de middagspits. Vertragingen veroorzaken gemiddeld niet meer dan 20% reistijdverlies ten opzichte van de snelste geobserveerde reistijd (tegenover maximaal bijna 25% in de ochtendspits). Maar deze vertraging houdt wel langer aan. Reistijdonbetrouwbaarheid is in maximale omvang vergelijkbaar met die van de ochtendspits en piekt net boven de 0,05 minuut per kilometer. Ook hiervoor geldt dat ze langer aanhoudt: 8 tijdvakken van een kwartier met waarden rond de 0,05 ten opzichte van 6 in de ochtend. De verhouding tussen onbetrouwbaarheid en vertraging piekt sterk als reguliere vertragingen minder worden. Met andere woorden, bij een wat latere vertrektijd zijn er sterkere uitschieters in reistijd ten opzichte van de te verwachten reistijd.

De gemiddelde middagspits in de onderzochte routes is minder gepiekt dan de ochtendspits; zij lijkt al te beginnen voor het begin van de geobserveerde periode, bereikt de grootste reistijdonbetrouwbaarheid bij vertrek tussen 15:45 en 17:15, en vlakt daarna snel af. Reguliere reistijdvertragingen worden in deze gemiddelde cijfers nauwelijks meer geobserveerd bij vertrek na 18:45. Uiteraard kunnen er voor specifieke routes en tijdstippen veel grotere reistijdvertragingen voorkomen.



Figuur 8 Gemiddeld verloop van vertraging en onbetrouwbaarheid (beiden in minuten per kilometer) voor alle routes in de middagspits.

4.3. Variatie tussen dagen

Op basis van de onderzochte studieperiode van 23 dagen is het mogelijk weekdag-specifieke verschillen in reistijdonbetrouwbaarheid te onderzoeken. Tabel 5 geeft het verschil aan in verwachte reistijden per kilometer en onbetrouwbaarheid per kilometer per dag van de week. Uiteraard hangen die verschillen ook samen met het type route en regio. De tabel maakt daarom onderscheid in typische ochtendspitsroutes (de ochtendforensenstroom), overige drukke spitsroutes inclusief (twee richtingen) forensenverkeer, en lange afstandsroutes. Deze indeling is in Tabel 1 indicatief aangegeven onder het kopje Nadruk. Daarnaast is onderscheid gemaakt in de regio's Randstad, Midden Nederland (routes 8, 11, 15 en 17 in Brabant en Gelderland) en Rand van het land (routes 7, 13, 14 en 16 in Zeeland, Limburg, Drenthe en Groningen).

Tabel 5 laat duidelijk zien dat de routes in de Randstad betrekkelijk langzaam zijn (verwachte reistijden oplopend tot 1,079 minuut per kilometer) en ook de hoogste onbetrouwbaarheid hebben. In de ochtendspits zijn beiden vooral hoog op de maandagen, dinsdagen en donderdagen, terwijl reistijden en onbetrouwbaarheid relatief laag zijn op woensdagen en vrijdagen. Op de typische forensenroutes in de Randstad is het verschil in verwachte reistijd tussen de weekdagen overigens minder groot dan voor de routes die ook door andere spitsdrukte gekenmerkt worden. Opmerkelijk genoeg kent de regio Midden lagere verwachte reistijden (dus snellere routes) dan de rand van Nederland waar het de routes betreft die als spitsdruk zijn aangemerkt. De rand van Nederland scoort evenwel een lagere reistijdonbetrouwbaarheid, zodat de verschillen hier niet liggen aan het verkeersbeeld op de geanalyseerde wegen, maar aan de waarschijnlijk betrekkelijk lage maximumsnelheden op de betreffende routes.

Voor wat betreft de middagspits vinden we zoals verwacht iets kortere reistijden en lagere onbetrouwbaarheid op de typische forensenroutes (die immers op de ochtendspitsrichting geënt zijn), maar des te meer op de spitsdrukke routes. Opmerkelijk zijn de forse verwachte reistijden in de middag op de spitsdrukke Randstad routes. Blijkbaar leidt de langere, lagere piek van vertraging in de middagspits hier toch tot een grotere algemene vertraging.

De tabel geeft bij wijze van illustratie ook de gemiddelde reistijden en vertragingen weer voor de weekenddagen. De reistijden zijn zoals verwacht korter dan op weekdagen. Opmerkelijk genoeg zijn de onbetrouwbaarheden vooral aan de rand van het land zijn niet veel lager dan op sommige

weekdagen. Dat kan er mee samenhangen dat het verkeersaanbod op die dagen niet veel afwijkt, maar kan ook een gevolg zijn van een beperkter aantal waarnemingen op de weekenddagen. Dat laatste zou kunnen leiden tot het wegvallen van momenten waarop doorstroming zeer soepel gaat en dus een oververtegenwoordiging van de drukkere momenten. Een nadere analyse hiervan valt buiten scope van het rapport waarin we ons vooral op spits tijdens weekdagen richten. In eventuele vervolgstudies waarin een langere periode beschouwd wordt zou dit nader onderzocht kunnen worden.

Tabel 5 Gemiddelden van de reguliere verwachte reistijden per kilometer, en gemiddelden van de reguliere onbetrouwbaarheid per kilometer, per geobserveerde dag van de week, uitgesplitst naar type route en regio.

	Route type	**Regio**	**Ma.**	**Di.**	**Wo.**	**Do.**	**Vrij.**	**Zat.**	**Zon.**
	Ochtendspits								
Reistijd min per km	Forens	Randstad	0,950	0,967	0,944	0,936	0,870	0,834	0,817
		Midden	0,800	0,825	0,776	0,803	0,747	0,703	0,687
		Rand	0,762	0,761	0,723	0,753	0,699	0,677	0,652
	Spitsdrukte incl, forens	Randstad	1,009	0,982	0,936	1,017	0,876	0,869	0,820
		Midden	0,741	0,739	0,715	0,743	0,682	0,654	0,632
		Rand	0,966	0,962	0,964	0,975	0,937	0,915	0,860
	Lange afstand	Land	0,684	0,683	0,661	0,660	0,639	0,641	0,610
Onbetrouwb. per km	Forens	Randstad	0,051	0,054	0,045	0,032	0,036	0,012	0,015
		Midden	0,023	0,024	0,016	0,018	0,035	0,009	0,009
		Rand	0,032	0,023	0,016	0,019	0,020	0,017	0,014
	Spitsdrukte incl, forens	Randstad	0,068	0,043	0,036	0,053	0,039	0,036	0,024
		Midden	0,035	0,031	0,020	0,032	0,032	0,011	0,013
		Rand	0,022	0,020	0,020	0,022	0,031	0,022	0,015
	Lange afstand	Land	0,029	0,028	0,015	0,010	0,015	0,024	0,013
	Middagspits								
Reistijd min per km	Forens	Randstad	0,894	0,918	0,912	0,909	0,903	0,857	0,856
		Midden	0,741	0,778	0,772	0,797	0,755	0,734	0,713
		Rand	0,705	0,739	0,711	0,716	0,699	0,684	0,685
	Spitsdrukte incl, forens	Randstad	0,991	1,042	1,066	1,079	1,025	0,936	0,890
		Midden	0,715	0,756	0,742	0,749	0,709	0,663	0,656
		Rand	0,968	0,969	0,975	0,974	0,965	0,940	0,923
	Lange afstand	Land	0,676	0,691	0,701	0,709	0,692	0,615	0,627
Onbetrouwb. per km	Forens	Randstad	0,033	0,041	0,034	0,030	0,027	0,013	0,017
		Midden	0,010	0,029	0,027	0,042	0,017	0,025	0,009
		Rand	0,014	0,040	0,014	0,015	0,014	0,015	0,012
	Spitsdrukte incl, forens	Randstad	0,044	0,047	0,059	0,054	0,054	0,047	0,035
		Midden	0,037	0,042	0,026	0,034	0,026	0,023	0,011
		Rand	0,029	0,025	0,018	0,018	0,019	0,022	0,020
	Lange afstand	Land	0,020	0,025	0,016	0,021	0,020	0,008	0,016

4.4. Verklaren variatie in reistijdbetrouwbaarheid

Om de variatie in reistijdbetrouwbaarheid beter te begrijpen hebben we een verklarende analyse opgezet waarin we het effect verklaren van gemiddelde vertraging per werkdagkwartier op de standaarddeviatie in reistijden tijdens dat kwartier. Zowel vertraging als standaarddeviatie zijn hierin genormaliseerd op de lengte van de route, zodat mogelijk structurele effecten van routelengte de resultaten niet beïnvloeden. De analyse onderzoekt dus hoe de (on)betrouwbaarheid in vertraging zoals gemeten in de 1360 perioden van 15 minuten (34 route-alternatieven * 10 uur * 4 kwartieren) afhangt van de gemiddelde omvang van de reguliere vertraging, waarin al rekening is gehouden met

structurele variatie per weekdag en per kwartier. De hypothese daarbij is dat een grotere vertraging ook samengaat met een grotere onzekerheid (standaarddeviatie). In deze analyse houden we er rekening mee dat die relatie mede beïnvloed wordt door het tijdvak (ochtend- of middagspits), landsdeel en type route (forensenroute, spitsdrukke route en lange afstandsroute).

Tabel 6 geeft een overzicht van de variabelen die we in deze analyse hebben opgenomen. Uit deze beschrijvende statistieken blijkt dat de grootste gemiddelde vertragingen over het algemeen voorkomen in de Randstad. Daar is de gemiddelde vertraging per kilometer veel groter dan in de rest van Nederland. Dit wordt zonder twijfel veroorzaakt door de veel grotere verkeersdruk in Nederlands dichtbevolkte gebied. Over het algemeen blijkt uit deze tabel ook dat het onderliggend wegennet, per kilometer, veel grotere reguliere vertragingen kent per kilometer dan het snelwegennet; en dat ook de reistijdonbetrouwbaarheid per kilometer op het onderliggend wegennet groter is. Langeafstandsroutes kennen in de ochtendspits, per kilometer de minste vertraging en een betrekkelijk kleine onbetrouwbaarheid. Dit komt ongetwijfeld doordat het piek-achtige karakter van de ochtendspits zorgt voor een kortere periode waarbinnen tijdens een lange route last wordt ondervonden van verkeer. In de middagspits is de gemiddelde vertraging op lange afstandsroutes veel hoger, wat overeenkomt met de veel langere duur van de middagspits.

Tabel 6 Aantal observaties (N), gemiddelde reguliere vertraging per kilometer (Vertr.) en gemiddelde reguliere reistijd onbetrouwbaarheid per kilometer (Onbet.) voor de gehele routes en delen van die routes over snelwegen en overige wegen.

			Gehele route		**Autosnelwegen**		**Overige wegen**	
Route type	**Regio**	**N**	**Vertr.**	**Onbet.**	**Vertr.**	**Onbet.**	**Vertr.**	**Onbet.**
Ochtendspits								
Forens	Randstad	160	0,183	0,052	0,120	0,059	0,349	0,077
	Midden	20	0,148	0,025	0,061	0,022	0,287	0,045
	Rand	40	0,120	0,023	0,067	0,024	0,256	0,044
Spitsdrukte incl. forens	Randstad	220	0,229	0,053	0,138	0,050	0,547	0,108
	Midden	80	0,136	0,034	0,114	0,035	0,468	0,081
	Rand	80	0,163	0,024	0,109	0,019	0,179	0,029
Lange afstand	Land	80	0,090	0,024	0,080	0,025	0,161	0,035
Middagspits								
Forens	Randstad	160	0,115	0,038	0,078	0,045	0,230	0,054
	Midden	20	0,090	0,028	0,064	0,036	0,136	0,031
	Rand	40	0,073	0,022	0,041	0,026	0,189	0,036
Spitsdrukte incl. forens	Randstad	220	0,226	0,055	0,184	0,061	0,428	0,088
	Midden	80	0,119	0,038	0,102	0,038	0,466	0,130
	Rand	80	0,110	0,024	0,111	0,039	0,121	0,025
Lange afstand	Land	80	0,105	0,023	0,106	0,024	0,120	0,033

De resultaten van de statistische analyse zijn opgenomen in Tabel 7 en geven aan dat de onbetrouwbaarheid (standaarddeviatie) goed te verklaren is uit de vertraging per regio en landsdeel (R^2 = 0,78). Bij een grotere gemiddelde vertraging op een route zal de reistijdonbetrouwbaarheid toenemen. Daarbij zijn er verschillen te zien tussen regio's en tussen type routes, alhoewel de verschillen tussen regio's niet structureel lijken te zijn als type route, ochtend en middagspits worden vergeleken.

Het soort route speelt ook een belangrijke rol in de relatie tussen gemiddelde vertraging en reistijdonbetrouwbaarheid. In de Randstad en het midden van het land laten forensenroutes een grotere onbetrouwbaarheid zien bij dezelfde toename in gemiddelde vertraging; terwijl uit Tabel 6 blijkt dat de gemiddelde vertragingen op forensenroutes daar juist lager zijn. Een mogelijke verklaring is dat de verkeersvraag minder stabiel is op forensenroutes, zodat de reistijd voor die routes onbetrouwbaarder is.

Tabel 7 Variatie van reguliere onbetrouwbaarheid van reistijden per km verklaard door middel van gemiddelde reguliere vertraging per kilometer, per tijdvak, regio en type route.

Route type	Regio	Coëfficiënt (standaardfout)
Ochtendspits		
Forens	Randstad	0,126** (0,005)
	Midden	0,121** (0,016)
	Rand	0,107** (0,013)
Spitsdrukte incl. forens	Randstad	0,120** (0,003)
	Midden	0,041** (0,009)
	Rand	0,134** (0,007)
Lange afstand	Land	0,068** (0,013)
Middagspits		
Forens	Randstad	0,125** (0,007)
	Midden	0,134** (0,026)
	Rand	0,132** (0,021)
Spitsdrukte incl. forens	Randstad	0,091** (0,003)
	Midden	0,083** (0,009)
	Rand	0,158** (0,010)
Lange afstand	Land	0,037** (0,010)

Significantie codes coefficienten: ** p < 0,01. N = 1360. R^2 = 0,78

4.5. Correlatie tussen alternatieve routes en consequentie voor generalisatie

Het is waarschijnlijk dat de verkeerskarakteristieken op alternatieve routes voor dezelfde verbinding gelijker zijn dan de gemiddelde karakteristieken voor alle geobserveerde routes. Om dit te verifiëren zijn correlaties berekend met aan de ene kant de variatie over tijd van vertraging per kilometer ($DL_{k,z} = D_{k,z}/L_z$) en onbetrouwbaarheid per kilometer ($\sigma L_{k,z} = \sigma_{k,z}/L_z$) op een pad *z* in de set van alle geanalyseerde routes *Z*; en aan de andere kant variatie over tijd van dezelfde variabelen op alternatieve routes, dan wel op alle geselecteerde routes. Om dit te doen is een dummy berekend die voor elk van de alternatieve routes in *p* aangeeft of zij uitmaakt van dezelfde verbinding *V* als pad z, $V_{p,z}$. Vervolgens is het harmonisch gemiddelde van de vertraging en onbetrouwbaarheid per kilometer berekend voor de alternatieve routes van elk pad *z*:

$$\overline{DL}_{k,z}^{alt} = \left(\frac{(\sum_{p=1}^{P} V_{p,z})-1}{\left[\sum_{p=1}^{p} V_p D_{k,p}/L_p\right]-DL_{k,z}}\right)^{-1} \text{ en } \sigma L_{k,z}^{alt} = \left(\frac{(\sum_{p=1}^{P} V_{p,z})-1}{\left[\sum_{p=1}^{p} V_p \sigma_{k,p}/L_p\right]-\sigma L_{k,z}}\right)^{-1}$$

Zelfde harmonische gemiddelden zijn berekend voor elke pad *z* voor alle andere routes in Z, inclusief de alternatieve routes, zodat de variabelen:

$$\overline{DL}_{k,z}^{andere} = \left(\frac{N-1}{\left[\sum_{z=1}^{N} D_{k,z}/L_z\right]-DL_{k,z}}\right)^{-1} \text{ en } \sigma L_{k,z}^{andere} = \left(\frac{N-1}{\left[\sum_{z=1}^{N} \sigma_{k,z}/L_z\right]-\sigma L_{k,z}}\right)^{-1}$$

een indicatie geven van de gemiddelde vertraging en onbetrouwbaarheid per kilometer op alle andere routes in Nederland waarvoor reistijden zijn berekend per kwartier. Vervolgens zijn correlaties berekend tussen $DL_{k,z}$, $\overline{DL}_{k,z}^{alt}$ en $\overline{DL}_{k,z}^{andere}$ en tussen $\sigma L_{k,z}$, $\sigma L_{k,z}^{alt}$ en $\sigma L_{k,z}^{andere}$.
Niet alle verbindingen hebben meerdere alternatieve routes, zodat voor sommige verbindingen de variabele $\overline{DL}_{k,z}^{alt}$ null waardes bevatten. Die verbindingen zonder alternatieven zijn in de correlatie berekeningen buiten beschouwing gelaten.

Tabel 8 toont de correlaties in ochtend- en middagspits. De temporele variantie van zowel vertraging als onbetrouwbaarheid zijn sterker gecorreleerd met alternatieve routes *p* dan met de verzameling van alle geobserveerde routes *z*, inclusief alternatieven. Dit impliceert het bestaan van ruimtelijke autocorrelatie in de regressies die zijn uitgevoerd om reistijdonbetrouwbaarheid te verklaren, aanwezig in zowel de verklaarde als de verklarende variabele. Dit kan tot gevolg hebben dat de eerder geschatte effecten en betrouwbaarheidsintervallen voor die effecten zijn over- of onderschat. De gevonden correlaties hebben waarschijnlijk twee oorzaken, namelijk directe correlatie doordat alternatieve routes deels dezelfde wegsegmenten gebruiken; en indirecte correlatie, doordat, indachtig Tobler's eerste wet van de geografie, verkeersbeeld en verplaatsingspatronen waarschijnlijk meer op elkaar lijken als ze ruimtelijk dichter bij elkaar zijn.

Tabel 8 Correlaties tussen temporele variatie in vertraging en onbetrouwbaarheid op alternatieve routes en op alle routes.

Route type	Reguliere vertraging per km	Reguliere onbetrouwbaarheid per km
Ochtendspits		
Alternatieve routes *p*	0,84	0,79
Alle andere routes *z*	0,46	0,20
Middagspits		
Alternatieve routes *p*	0,87	0,73
Alle andere routes *z*	0,53	0,21

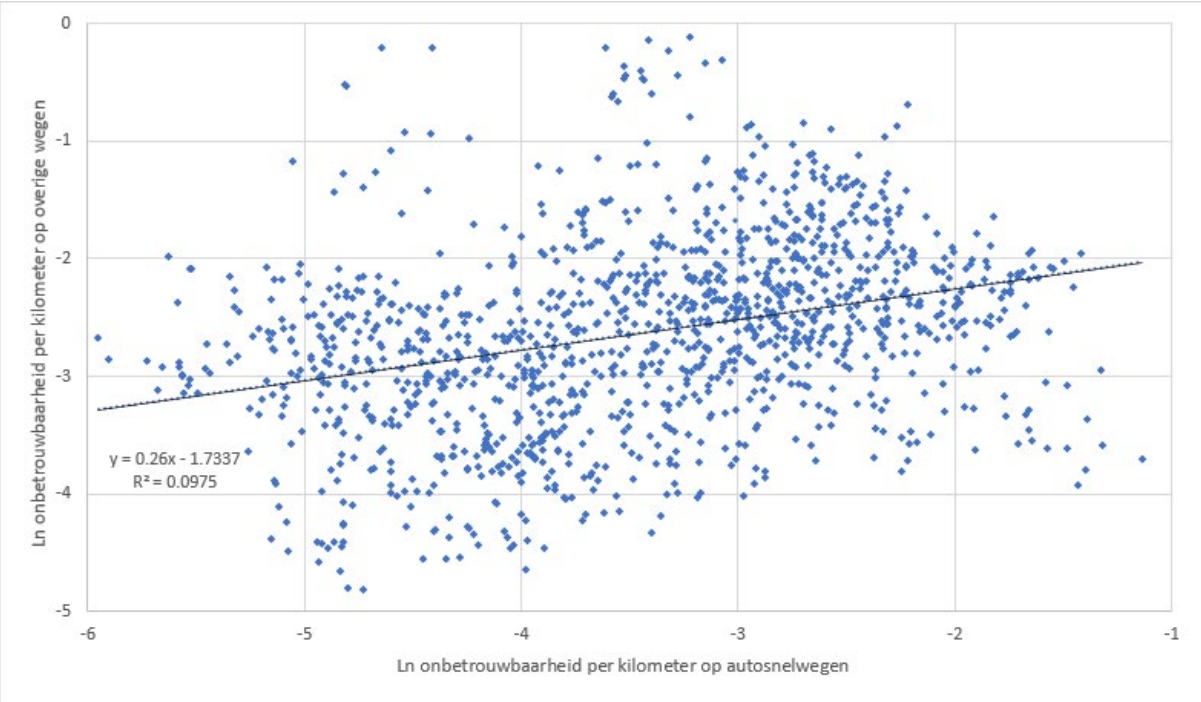
In een vervolgstudie zouden regressies uitgevoerd kunnen worden waarin locatie expliciet wordt meegenomen. Aangezien er in de regressies ook ruimtelijke heterogeniteit is geconstateerd, zijn ruimtelijk gewogen regressies (GWR, zie Brunsdon, Fotheringham & Charlton, 1996) waarschijnlijk een aantrekkelijke specificatie. Daarbij zou het ruimte overschrijdende karakter van de routes wel een complicerende factor zijn. Het is aan te raden dit soort regressies uit te voeren op betrekkelijk gelijksoortige, niet te lange routes, waarbij het middelpunt of eindpunt van een route wordt gebruikt als indicatie van de locatie van een route.

Een ander, mogelijk nog aantrekkelijker alternatief is het meten van onbetrouwbaarheid op wegsecties, bijvoorbeeld op langere sequenties van wegsegmenten tussen belangrijke kruisingen en knopen, idealiter analoog met de links in het LMS. Een methode als gebruikt in dit rapport zou kunnen worden ingezet om voor elke minuut dat een wegsectie "betreden" wordt, de verwachte reistijd en reguliere onbetrouwbaarheid te meten die wordt ervaren voor het reizen over deze wegsectie. De in deze analyse gebruikte floating car data kan hiervoor nuttig zijn om onbetrouwbaarheid ook op het onderliggend wegennet te kunnen meten. Het zo meten zou kunnen leiden tot een geschatte respons van onbetrouwbaarheid op vertraging, specifiek per wegsectie. Op basis van verwachte vertraging per wegsectie zou de onbetrouwbaarheidsrespons gestapeld kunnen worden tot een geschatte onbetrouwbaarheid per herkomst-bestemmingsrelatie door meerdere secties te combineren. Het aantrekkelijke van zo'n definitie is dat ruimtelijke heterogeniteit expliciet wordt benoemd (door een respons per sectie) en ruimtelijke autocorrelatie beperkt is tot de eerder benoemde indirecte component, waarvoor eventueel in de schattingsmethodiek gecontroleerd kan worden. De laatste gebruikte GeoDMS oplossingsmethodiek is in principe op te schalen om binnen afzienbare rekentijd alle secties op een dergelijke wijze te analyseren. Bewerkelijk is vooral het bepalen van consistente secties en het eventuele koppelen aan LMS links. De methodisch grootste uitdaging is het cumuleren van wegvak-specifieke onbetrouwbaarheden, waarbij vertraging en onbetrouwbaarheidsresponsen op een later moment af kunnen hangen van eerdere omstandigheden, zodat wegvak-specifieke onbetrouwbaarheid waarschijnlijk niet zonder meer opgeteld kan worden. Dit zou eenvoudig getoetst kunnen worden door te vergelijken met reistijden uit trajectoriën zoals in de onderhavige studie.

4.6. Correlatie tussen onbetrouwbaarheid op autosnelwegen en overige wegen

De verzamelde data maken het mogelijk om reistijd onbetrouwbaarheid op een route toe te wijzen aan specifieke delen van die route. Dit is aantrekkelijk omdat zo ook de bijdrage van overige wegen aan reistijdonbetrouwbaarheid inzichtelijk kan worden gemaakt. Om dit hier te doen is de eerdere onbetrouwbaarheid per kilometer verder opgedeeld zodat $\sigma L_{k,z}^{asw} = \sigma_{k,z}^{asw} / L_z^{asw}$ de onbetrouwbaarheid per kilometer aangeeft op de autosnelwegen aangedaan op route *z* in vertrekkwartier *k*. Op dezelfde wijze geeft $\sigma L_{k,z}^{ow} = \sigma_{k,z}^{ow} / L_z^{ow}$ de onbetrouwbaarheid per kilometer aan voor de overige wegen die zijn aangedaan op dezelfde route in hetzelfde vertrekkwartier. Van beide variabelen zijn vervolgens natuurlijke logaritmes genomen. Alle observaties in zowel ochtendspits als middagspits zijn vervolgens gecombineerd in een tabel. De twee routes die geheel uit onderliggend wegennet bestaan (7ª en 14) zijn in deze analyse buiten beschouwing gelaten.

De waarden van $\sigma L_{k,z}^{asw}$ en $\sigma L_{k,z}^{ow}$ zijn tegen elkaar geplot in Figuur 9. Daar is een stijgende lijn uit te halen, met een stevige bandbreedte rond die lijn.



Figuur 9 Onbetrouwbaarheid per kilometer op autosnelwegen in een traject versus de onbetrouwbaarheid per kilometer op de overige wegen in dat traject.

Aangezien er op het overige wegennet veel minder observaties beschikbaar zijn, zou het aantrekkelijk kunnen zijn als onbetrouwbaarheid op het overige wegennet voorspeld kan worden met observaties van autosnelwegen. Om de haalbaarheid van zo'n benadering te toetsen is middels een regressie onderzocht in hoeverre onbetrouwbaarheid op het overige wegennet kan worden voorspeld met onbetrouwbaarheid op het autosnelwegennet. De functie die is gepast op de data neemt in basis deze vorm:

$$\ln \sigma L_{k,z}^{ow} = \beta 0 + \beta 1 \ln \sigma L_{k,z}^{asw} + \beta 2 A_k + \beta 3 \ln L_z^{ow} + \beta 4 \ln L_z^{asw} + \varepsilon$$

Met deze analyse trachten we de reistijdsonbetrouwbaarheid per kilometer op overige wegen te verklaren met: een constante; de reistijdsonbetrouwbaarheid per kilometer op het autosnelwegennet; een dummy *A* die aangeeft of de observatie tijdens de avondspits is genomen; de lengte van het overige wegennet op de route; en de lengte van het autosnelwegennet op de route. De functie is geschat middels OLS methodiek, waarbij niet is gecorrigeerd voor de

eerdergenoemde econometrische problemen (ruimtelijke en temporele correlatie, ruimtelijke heterogeniteit). We vinden dit acceptabel, gezien het verkennende karakter van dit rapport.

De resultaten van deze regressie zijn te zien in Tabel 9. De linkerkolom geeft de specificatie van het basismodel weer. Hieruit blijkt dat onbetrouwbaarheid op het autosnelwegennet samengaat met een structureel en positief effect op onbetrouwbaarheid op het overige wegennet. Als er op een bepaalde route op een bepaald kwartier meer onbetrouwbaarheid is op autosnelwegen, is er ook meer onbetrouwbaarheid op het overige wegennet op die route. De lengte van het overige wegennet beperkt de onbetrouwbaarheid daar enigszins. Met langere stukken overige wegen is de onbetrouwbaarheid per kilometer lager, mogelijk omdat de onbetrouwbaarheid daar meer gladgestreken wordt. Tijdens de avondspits is de geschatte relatie tussen onbetrouwbaarheid op autosnelwegen en overige wegen lager. Dit kan niet komen doordat onbetrouwbaarheid in de avondspits in het algemeen lager ligt. Dit wordt immers al ondervangen door de mate van onbetrouwbaarheid op het autosnelwegennet. Een mogelijke verklaring is dat het overige wegennet erop is ingericht om verkeer snel van snelwegen af te laten vloeien, om zo opstoppingen bij afritten te voorkomen. Dit zou ertoe kunnen leiden dat in de middagspits verkeer betrouwbaarder weg rijdt als het eenmaal van de snelweg af is, dan wanneer het in de ochtendspits richting de snelweg gaat.

Om te onderzoeken hoe robuust dit effect is, zijn twee alternatieve specificaties opgenomen in tabel 9. De middelste kolom laat de vier routes van meer dan 100 kilometer buiten beschouwing die wegens hun grotere lengte en langere reisduur misschien een andere relatie vertonen. Dit heeft echter bijna geen verschil in de omvang van het effect van onbetrouwbaarheid op het autosnelwegdeel. Wel blijkt nu dat langere stukken autosnelweg in een route deze bijdrage versterken. In de rechterkolom van Tabel 9 zijn aan deze analyse nog enkele extra controlevariabelen toegevoegd. De eerste extra variabele geeft aan dat de reistijd op overige wegen op de spitsdrukke routes inclusief forensenverkeer extra onbetrouwbaar is vergeleken met de routes met voornamelijk forensenverkeer die hierbij als referentie gelden. Daarbovenop is de reistijd op overige wegen op de routes in de Randstad onbetrouwbaarder dan de routes in midden Nederland (de niet weergegeven referentiecategorie) en de rand van het land. Tussen laatstgenoemde gebiedsdelen geen statistisch significant verschil. Maar ook na deze correcties blijft de hoofdconclusie overeind: de onbetrouwbaarheid op de overige wegen gaat gelijk op met de onbetrouwbaarheid op het snelwegdeel van dezelfde route in hetzelfde kwartiertijdvak.

Tabel 9 Resultaten verklarende analyses van reistijdonbetrouwbaarheid op deel van de route dat over overige wegen leidt ($ln\ \sigma L_{k,z}^{ow}$) als functie van onder meer reistijdonbetrouwbaarheid op routedeel over autosnelwegen ($ln\ \sigma L_{k,z}^{ow}$) en lengte van de delen van de route die over deze wegtypen gaan.

Variabele	**Alle routes met autosnelwegdeel Coëf. (stand.fout)**	**Idem excl. lange routes Coëf. (stand.fout)**	**Idem excl. lange routes met controles Coëf. (stand.fout)**
$\ln \sigma L_{k,z}^{asw}$	0,290** (0,016)	0,297** (0,015)	0,235** (0,014)
Ln (lengte routedeel overige wegen)	-0,575** (0,019)	-0,278** (0,035)	-0,343** (0,034)
Ln (lengte routedeel autosnelwegen)	0,024 (0,027)	0,471** (0,052)	0,316** (0,049)
Avondspits (1= ja; 0 = nee)	-0,146** (0,029)	-0,152** (0,029)	-0,150** (0,026)
Spitsdrukte incl. forens (1=ja; 0 =nee)			0,277** (0,028)
Route in Randstad (1=ja; 0 =nee)			0,353** (0,038)
Route rand van land (1=ja; 0 =nee)			0,004 (0,052)
Inclusief lange routes	Ja	Nee	Nee
Constante	-0,465** (0,119)	-2,503** (0,235)	-2,480** (0,216)
Aantal observaties	1280	1120	1120
R^2	0,578	0,525	0,602

Significantie codes coëfficienten: ** p < 0,01.

5. Conclusie

In deze studie zijn floating car data verzameld voor een periode van ruim drie weken in september 2019 voor een analyse van reistijdbetrouwbaarheid. De via NDW verkregen data beschrijft de waargenomen snelheid voor alle afzonderlijke minuten in de studieperiode voor alle wegsegmenten van een zeer gedetailleerd wegennetwerk. Deze enorme dataverzameling biedt de mogelijkheid om zowel in tijd als ruimte heel gedetailleerde analyses op te zetten. Met behulp van een speciaal voor deze studie ontwikkelde analyseomgeving was het mogelijk het verloop van de ochtend en middagspits te reconstrueren voor een verondersteld vertrek vanaf een zelfgekozen herkomst, via een zelf te definiëren route naar een bestemming naar keuze. Voor 30 individuele routes met een gemiddelde lengte van circa 40 km en 4 lange routes met een gemiddelde lengte van circa 130 km is de reistijd bepaald voor 23 opeenvolgende dagen voor vertrekmomenten die steeds een minuut na elkaar volgen in de ochtendspits (tussen 6 en 11 uur) en de middagspits (tussen 15 en 20 uur). In totaal dus 34 routes * 10 uur * 60 minuten * 23 dagen is 469200 afzonderlijke, maar hypothetische trips. We volgen immers geen individuen door de tijd, maar beschrijven de reistijd die op een bepaald moment voor een bepaalde route gold op basis van de middels floating car data verzamelde snelheidsgegevens per wegsegment.

De analyse levert een grote set aan resultaten op waar we in dit rapport beknopt op in gaan. Allereerst blijkt de data behoorlijk compleet te zijn. Gemiddeld genomen ontbreken waarnemingen voor slechts 5% van de wegsegment-minuut combinaties in de ochtendspits en nog minder (3%) in de middagspits. Dit percentage is iets hoger voor sommige routes met veel onderliggend weggennet, maar hiermee is het mogelijk een behoorlijk compleet beeld te schetsen van het reistijdverloop.

De weergave van het reistijdverloop van de individuele routes (Bijlage 1) laat zien dat de onbetrouwbaarheid van reistijd (gemeten als de standaarddeviatie ten opzichte van de gemiddelde vertraging) vaak gelijk oploopt met de gemiddelde vertraging (uitgedrukt in tijd die een reis langer duurt dan de voor die dag en kwartiertijdvak verwacht reistijd). Deze relatie is robuust voor alle routes en zichtbaar voor zowel snelwegen als overige wegen. Uitzondering hierop zijn de routes waar slechts een heel kort deel van de route over een van beide wegtypen wordt afgelegd. Ook tijdens de middagspits voor specifieke routes die een typische ochtendspits kennen vinden we een beperkte vertraging en onbetrouwbaarheid.

Deze bevindingen geven nadere onderbouwing aan de studie naar de omvang van de betrouwbaarheid van het Nederlandse wegennet ten behoeve van de LMS-BT module zoals beschreven door Kouwenhoven en Bel (2014). Ook daarin werd een positieve relatie gevonden tussen reguliere onbetrouwbaarheid en reistijdvertraging voor zowel autosnelwegen als overige wegen. Op basis van de huidige studie kunnen we dankzij het veel grotere aantal waarnemingen stelliger zijn over het bestaan van deze relatie op overige wegen. Daarbij kunnen we aantekenen dat zowel reguliere vertraging als onbetrouwbaarheid per afgelegde kilometer op de overige wegen groter zijn dan op autosnelwegen. Dat kwam niet zo naar voren uit de eerdere studie waarin naar totale vertraging (en dus niet per afgelegde kilometer) werd gekeken voor relatief korte stukken overige wegen. Beide studies geven wel aan dat de onbetrouwbaarheid op overige wegen minder sterk oploopt met vertraging dan op autosnelwegen.

Als we de resultaten van de afzonderlijke routes samennemen en normaliseren naar lengte van de route wordt het mogelijk meer algemene relaties te kwantificeren. We definiëren vertraging per route hiermee als gemiddelde reistijd op een kwartier voor een specifieke weekdag, min de minimale geobserveerde reistijd op de route, gedeeld door de lengte van de route. Onbetrouwbaarheid is dan de standaarddeviatie van reistijden binnen een kwartier, gedeeld door de lengte van de route. De achterliggende verwachting is dat de reistijden binnen een kwartier op een specifieke weekdag betrekkelijk homogeen zouden moeten zijn. Uit deze samengevoegde,

genormaliseerde resultaten blijkt dat bij vergelijking binnen regio's de vertraging tijdens de ochtendspits op typische (ochtend) forensenroutes minder groot is dan op de routes die daarbij, naar onze verwachting, ook nog een relatief groot deel overig verkeer hebben. Dat beeld is in de middagspits in dezelfde rijrichting logischerwijs nog sterker.

De onbetrouwbaarheid in de ochtendspits is voor zowel de typische forensenroutes als de algemeen spitsdrukke stukken grofweg even groot. In de middagspits is de onbetrouwbaarheid van de spitsdrukke stukken groter. Zoals te verwachten zijn vertragingen en onbetrouwbaarheid relatief groot in de Randstad. Over het algemeen verandert onbetrouwbaarheid betrekkelijk eenduidig bij vertragingen; alleen de reistijdonbetrouwbaarheid van routes in de rand van het land lijken minder sterk te reageren op langere vertragingen. Dit kan uiteraard een gevolg zijn van de relatief beperkte set van dergelijke routes.

De variatie over de verschillende weekdagen vertoont vooral voor de Randstad een grote spreiding, waar voor de ochtendspits de maandag en donderdag eruit springen met relatief grote vertraging en onbetrouwbaarheid, maar voor de middagspits juist de dinsdag, woensdag en donderdag. Ook hier zou het relatief beperkte aantal unieke weekdag-tijdvak-regio-routetype combinaties een rol kunnen spelen.

Al laatste is onderzocht in hoeverre op dezelfde routes de reistijdonbetrouwbaarheid op het onderliggend wegennet en het autosnelwegennet samenhangen. Uit deze eerste verkennende analyse bleek dat deze inderdaad sterk en positief gecorreleerd zijn: als de onbetrouwbaarheid van de reistijd op het snelwegdeel toeneemt, neemt de onbetrouwbaarheid op het onderliggend weggennet ook toe.

Een belangrijke vraag is in hoeverre de gedane analyses nu al bruikbaar zijn voor toepassing binnen LMS, of in hoeverre de analyses zijn op te schalen om uiteindelijk gebruikt te worden voor LMS analyses. Gezien de gevonden ruimtelijke autocorrelatie en ruimtelijke heterogeniteit is het niet mogelijk een algemene conclusie te trekken met betrekking tot de respons van onbetrouwbaarheid op vertraging. De huidige resultaten, gedaan door analyse van onbetrouwbaarheid op herkomst-bestemmingsniveau, zijn ook niet terug te herleiden tot individuele wegen of secties.

Het strekt ter aanbeveling te proberen de gedane analyses te reproduceren op basis van onbetrouwbaarheidsresponses per grotere wegsectie of LMS link. Belangrijkste vraag is dan hoe wegvakresponses zijn op te tellen tot een deur-tot-deur traject, zonder individuele trajecten te doorlopen. Waarschijnlijk is er sprake van temporele autocorrelatie op het wegvak en ruimtelijke autocorrelatie op de boven en benedenstroomse wegvakken, zodat een betrekkelijk complexe modelstructuur nodig is. Zelflerende methodes voor een accurate deur-tot-deur onbetrouwbaarheidsvoorspelling zijn mogelijk een aantrekkelijk alternatief. Voor het verzamelen van voldoende data zou de methodiek moeten worden opgeschaald naar een veel groter aantal, kortere routes; en idealiter voor een veel langere tijdsperiode dan de nu geanalyseerde maand. De methodiek die is toegepast in de analyses voor deze rapportage is betrekkelijk eenvoudig op te schalen om een veel groter aantal wegvakken en een veel groter aantal periodes te analyseren binnen een acceptabele rekentijd. Het definiëren van de juiste sequentie van segmenten, zoals deze in de floating car data zijn opgeslagen, is wel betrekkelijk bewerkelijk, en moet terugkerend gebeuren, daar de segmenten definitie in de floating car data steeds verandert met tussenpozen van ruwweg 2 tot 5 weken.

Met deze analyse hebben we nog maar een klein begin gemaakt met het ontdekken van de onderzoeksmogelijkheden van de floating car data. Met de nu verzamelde onderzoeksperiode, en binnen de voor dit project beschikbare tijd was het bijvoorbeeld niet mogelijk om specifieke

uitspraken over de gevolgen van weersomstandigheden, evenementen, werkzaamheden of andere incidenten te doen. Daarnaast zou in vervolgonderzoek meer aandacht besteed kunnen worden aan de variatie in vertragingen over de overige (niet spits) uren van de dag, per type weg, of als gevolg van specifieke ingrepen (zoals bijvoorbeeld trajectcontroles, wegafsluitingen). Ook is het met floating car data mogelijk om de relatieve aantrekkelijkheid van verschillende routealternatieven op een gestructureerde manier te vergelijken. Enkele van dergelijke alternatieven voor dezelfde herkomst-bestemmingscombinatie zijn al in deze studie opgenomen om een completer beeld van reistijdvariatie te geven, maar we hebben daarmee bijvoorbeeld nog niet onderzocht onder welke condities bepaalde alternatieven minder vertraging of onbetrouwbaarheid opleveren. Nader onderzoek zou zich ook kunnen richten op de verschillen tussen de waargenomen “free flow” snelheid en de toegestane maximumsnelheid. Zijn die verschillen groot? Wat verklaart de verschillen? Hangt dat samen wegindeling (weefvak, scherpe bocht, verandering van rijbanen), veranderingen in snelheidsregime (anticiperen of reageren op verandering in maximumsnelheid), of door andere factoren?

Deze rapportage sluit de werkzaamheden af die we in het kader van het Raamovereenkomst Samenwerking en Kennisuitwisseling op het gebied van Ruimtelijke Informatievoorziening (2015-2019) verricht hebben.

Referenties

Blanken, T. (2017) Onze verwachtingen zijn meer dan waargemaakt. NM magazine 2017,1. https://www.nm-magazine.nl/artikelen/onze-verwachtingen-zijn-meer-dan-waargemaakt/

Brunsdon, C., Fotheringham. A.S. & Charlton, M.E. (1996) Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. Geographical Analysis 28 (4): 281-298.

Felici, E. (2017) De mogelijkheden van floating car data. NM magazine 2017,1. https://www.nm-magazine.nl/artikelen/de-mogelijkheden-van-floating-car-data/

Fosgerau, M. (2010) On the relation between the mean and variance of delay in dynamic queues with random capacity and demand, Journal of Economic Dynamics and Control 34 (4): 598-603.

Hamer, R., de Jong, G.C., Kroes, E.P. (2005) The value of reliability in Transport – Provisional values for the Netherlands based on expert opinion. RAND Technical Report Series, TR-240-AVV, Netherlands.

Koomen, E., Andrée, B.P.J., Jacobs-Crisioni, C. (2018) Verkenning van de toepassingsmogelijkheid van floating car data voor het beschrijven van verplaatsingsgedrag. Rapport in opdracht van Rijkswaterstaat-CIV. Vrije Universiteit, Amsterdam. 30 pp.

Kouwenhoven, M., Bel, N. (2014) Raming omvang betrouwbaarheid Nederlandse wegennet. Eindrapport (versie 5). Rapport voor Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. Significance. 124 pp.

Kouwenhoven, M., Mulder, M., van Mourik, W. (2015) Betrouwbaarheid van reistijden in het LMS/NRM. Tijdschrift Vervoerswetenschap 51 (1): 3-16.

Peer, S., Koopmans, C.C., Verhoef, E.T. (2012) Prediction of travel time variability for cost-benefit analysis, Transportation Research Part A: Policy and Practice 46 (1): 79-90.

RAND Europe (2004) De Waardering van kwaliteit en betrouwbaarheid in personen- en goederenvervoer. AVV/RAND Europe, Rotterdam.

Stępniak, M., Jacobs-Crisioni, C. (2017) Reducing the uncertainty induced by spatial aggregation in accessibility and spatial interaction applications. Journal of Transport Geography 61: 17-29

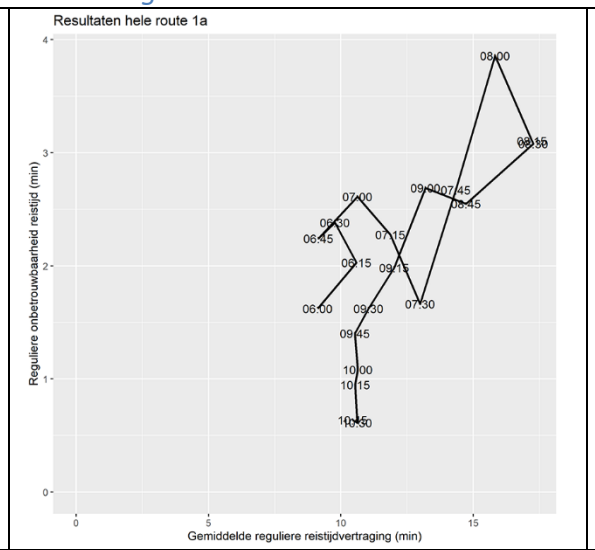
Uenk-Telgen, M., Bakker, B., Heijligers, B. (2016) FCD Pilot Zuid Holland. Niet openbaar onderzoeksrapport met vergelijking tussen drie FCD-leveranciers en NDW-data in de provincie Zuid-Holland. Nationale Databank Wegverkeersgegevens. 62 pp.

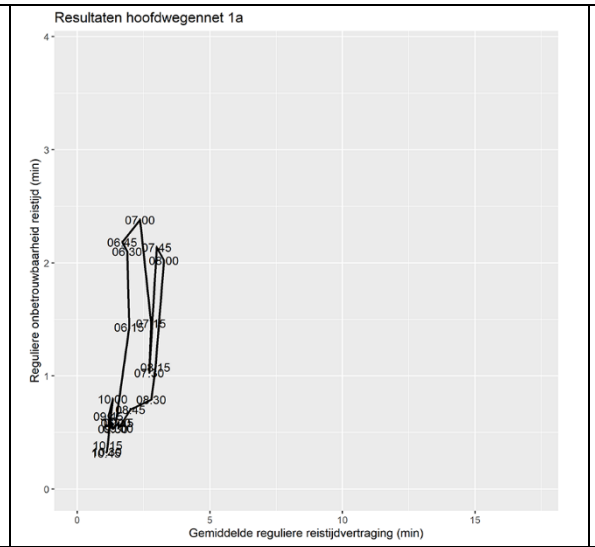
Uenk-Telgen. M. (2018) Vergelijkingsonderzoek Floating Car Data. Deel 1 - Trajecten. Nationale Databank Wegverkeersgegevens. 67 pp.

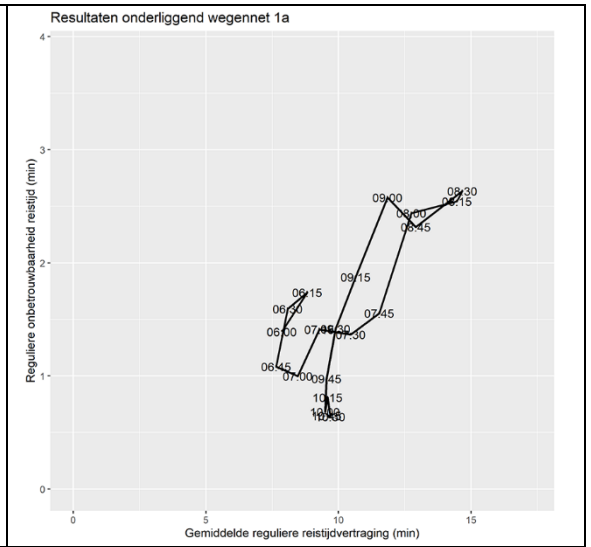
Bijlage 1 Reistijdbetrouwbaarheid voor individuele routes

Route 1a Den Haag – Rotterdam via A13

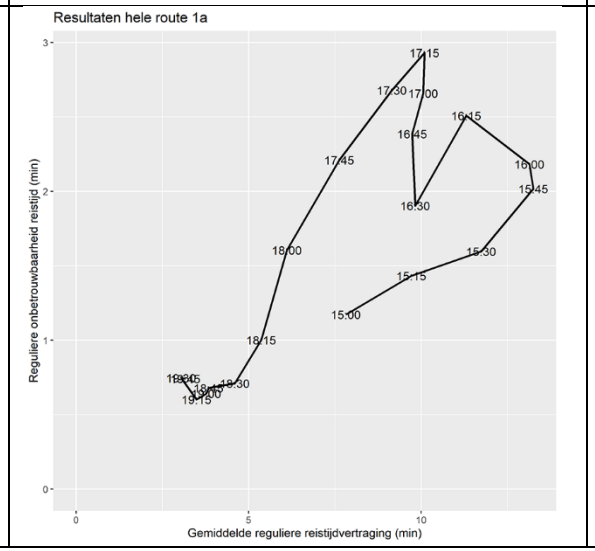
Ochtendspits

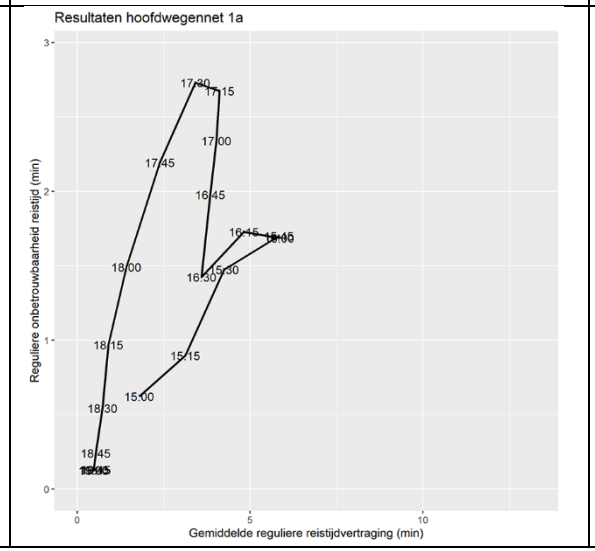


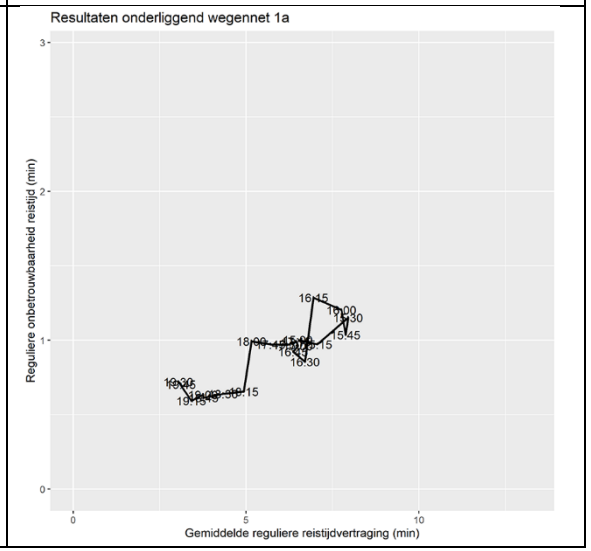




Middagspits

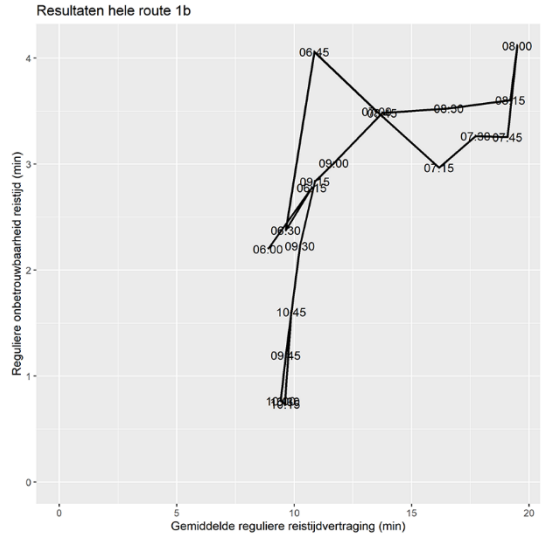


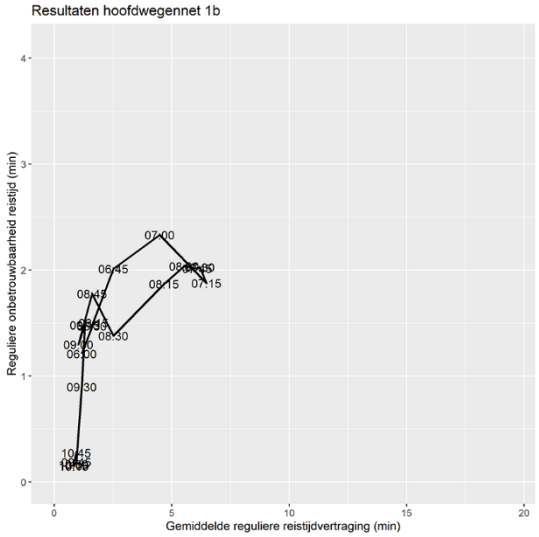


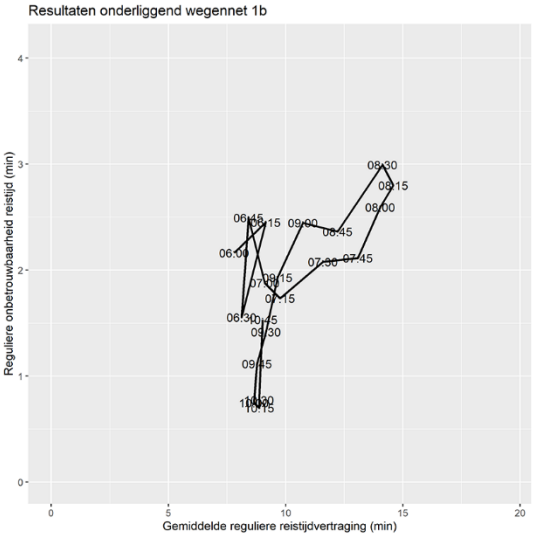


Route 1b Den Haag – Rotterdam via A4 en A20

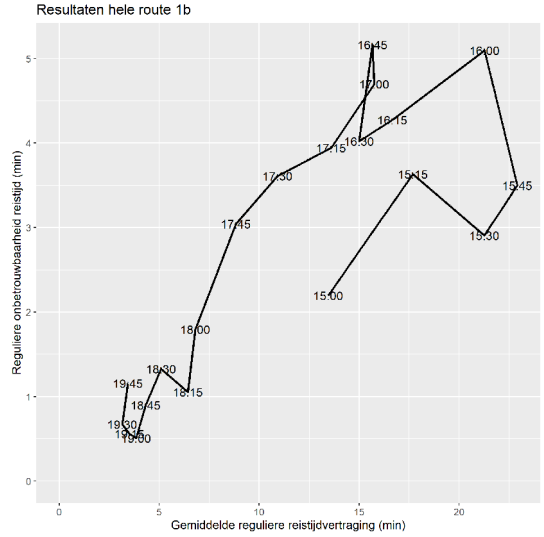
Ochtendspits

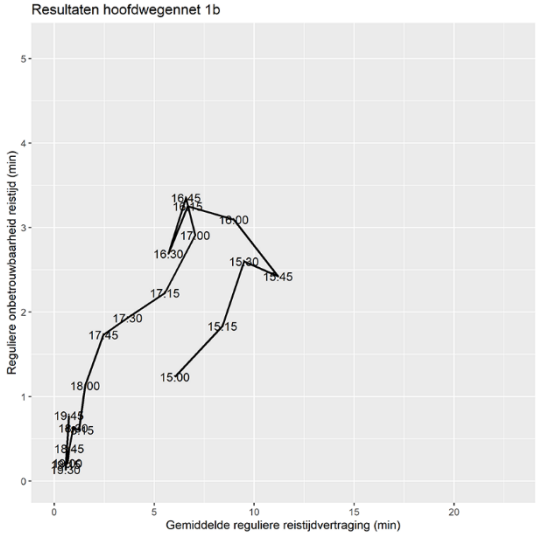


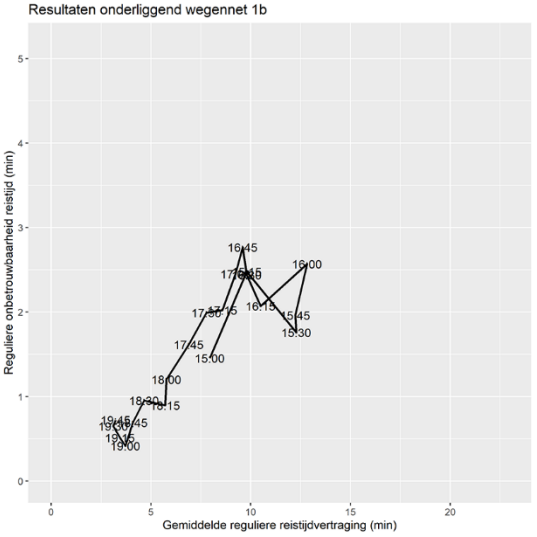




Middagspits

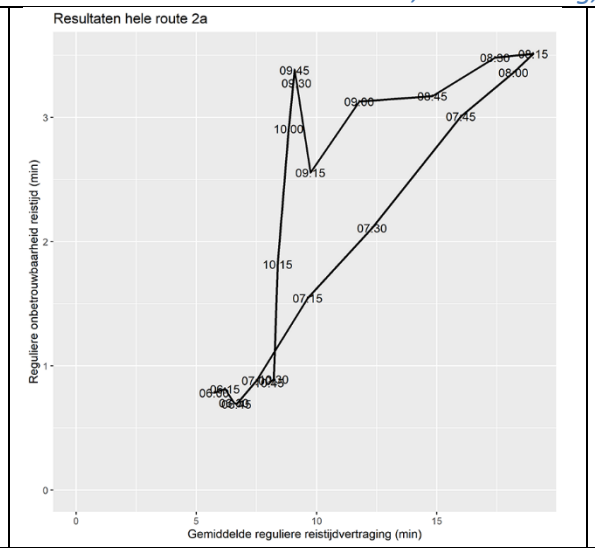


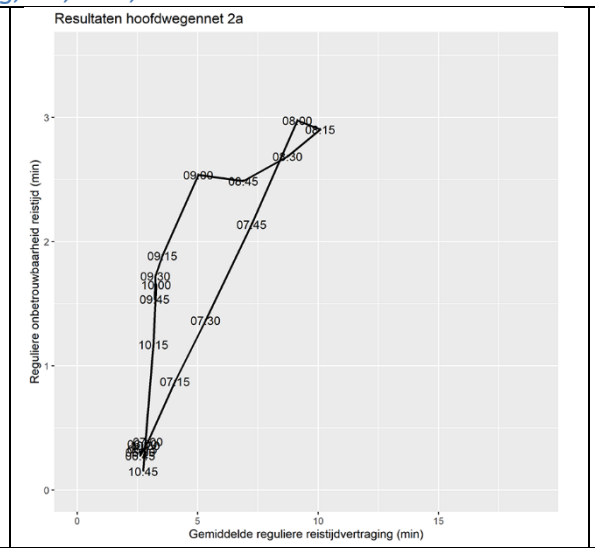


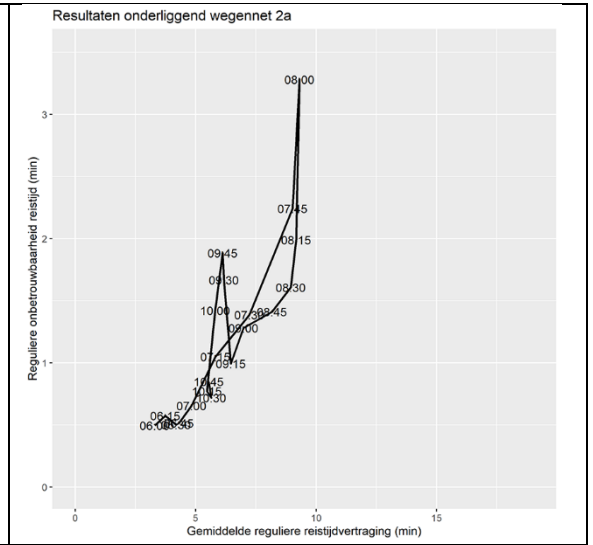


Route 2a Utrecht – Amsterdam via A27, Zuilense ring, A1, A10, Wibautstraat

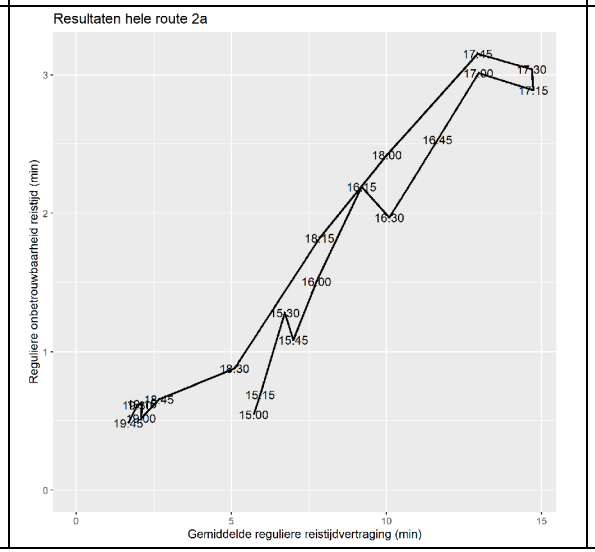
Ochtendspits

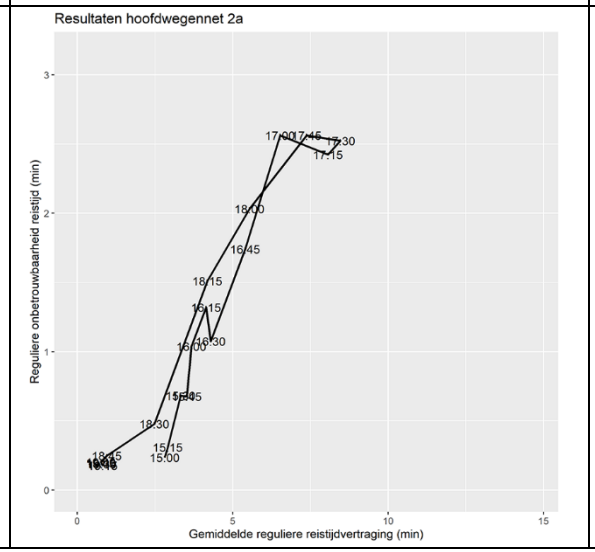


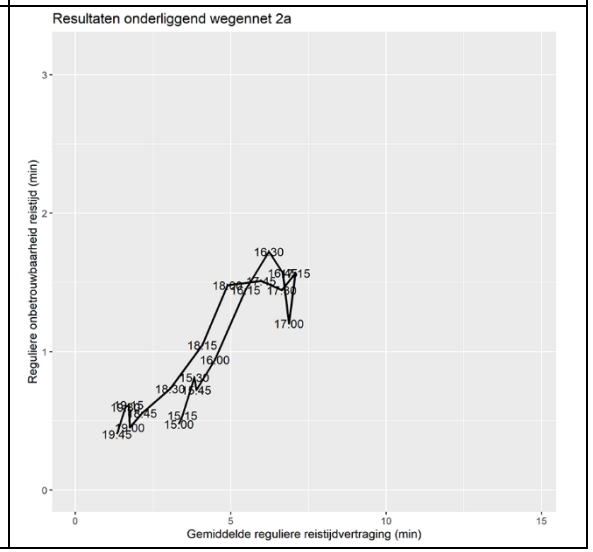




Middagspits

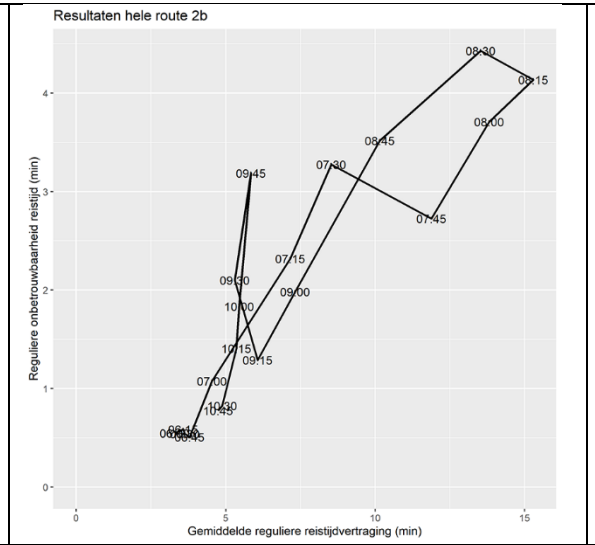


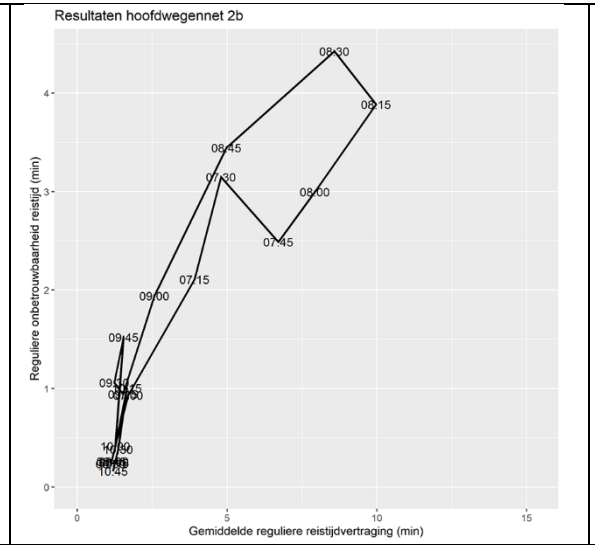


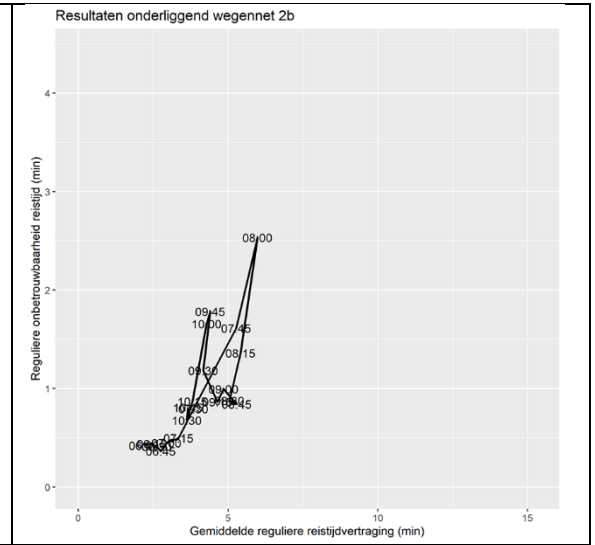


Route 2b Utrecht – Amsterdam via A1, A10, Wibautstraat

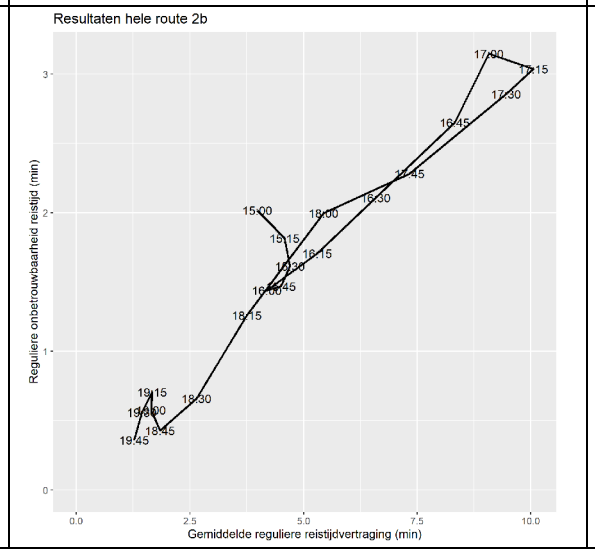
Ochtendspits

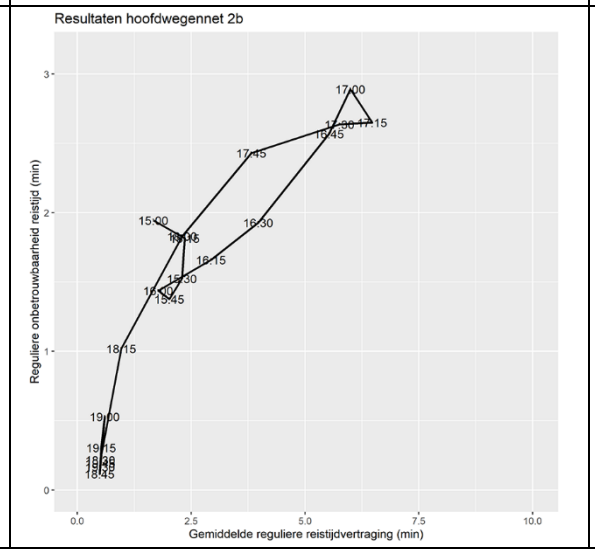


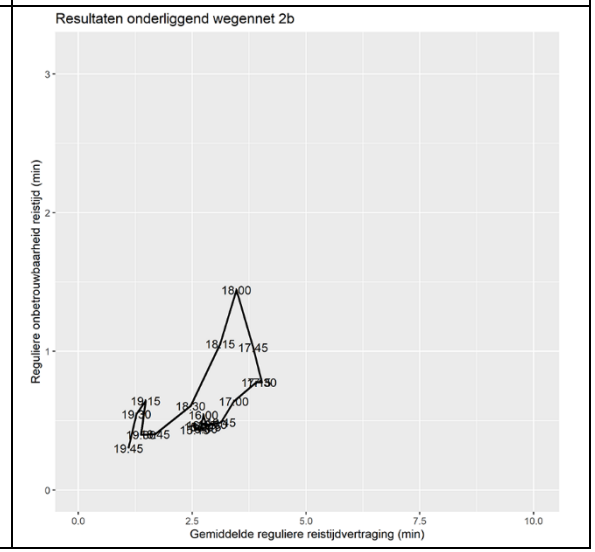




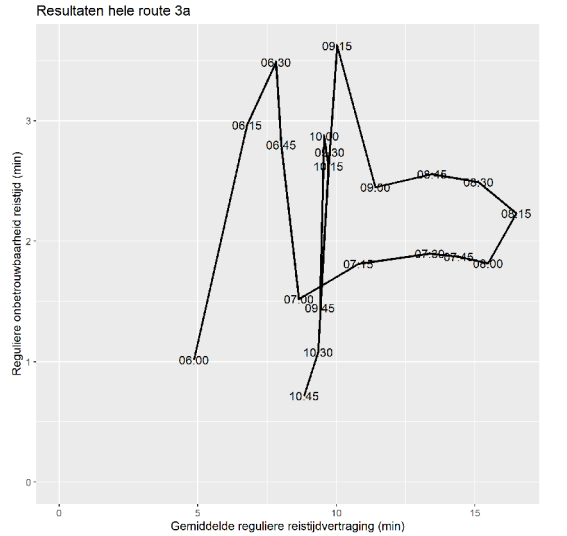
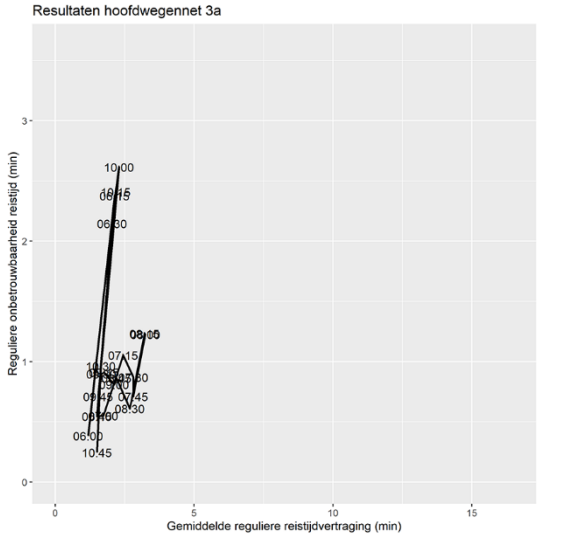
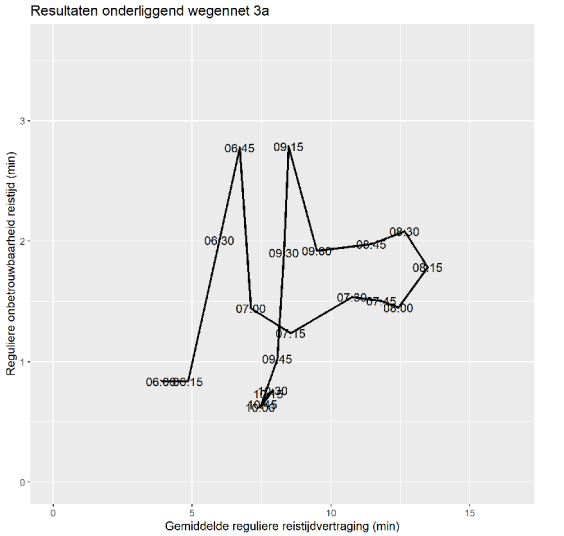
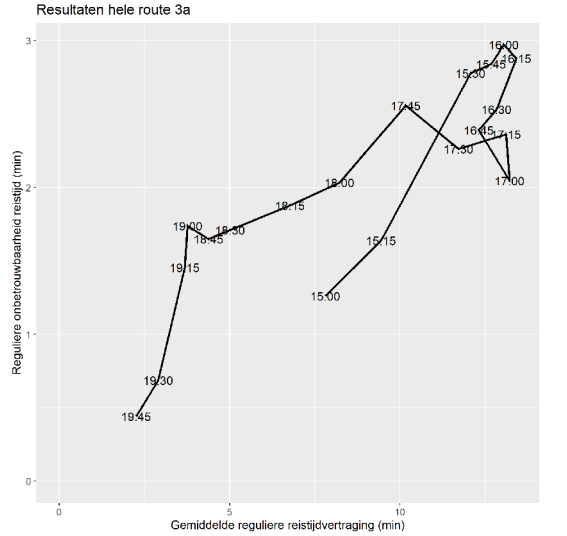
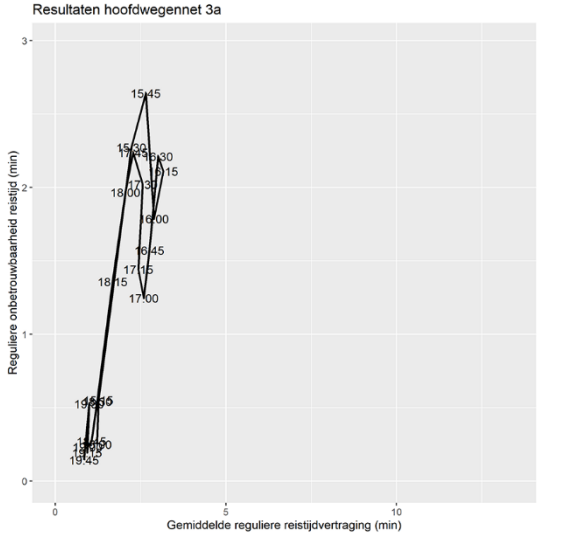
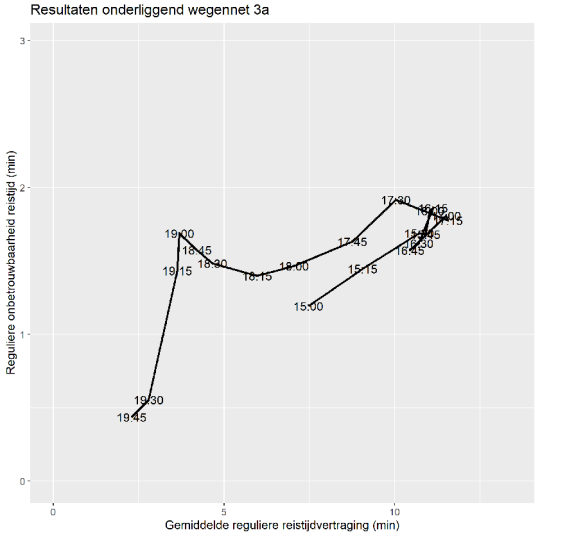
Middagspits



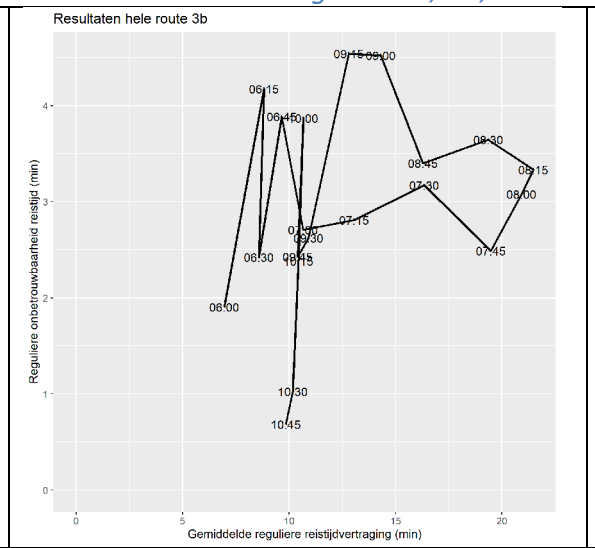
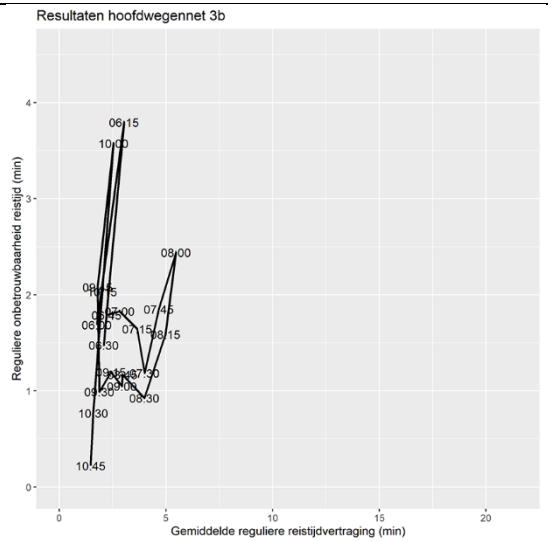
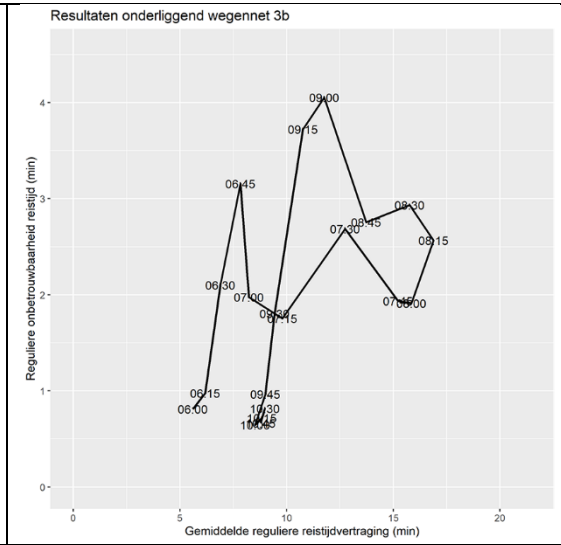
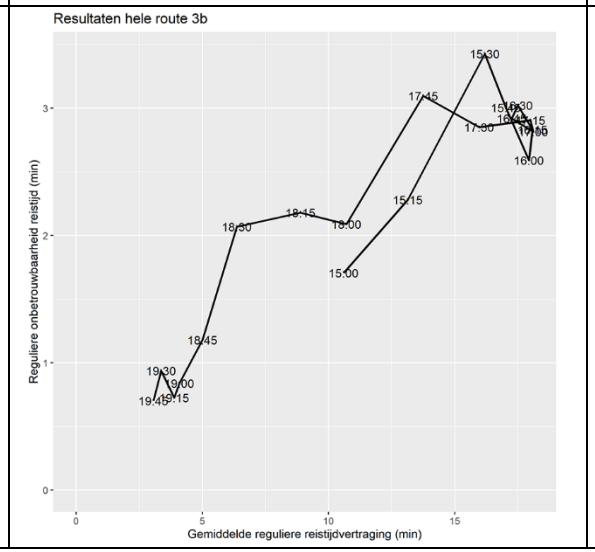
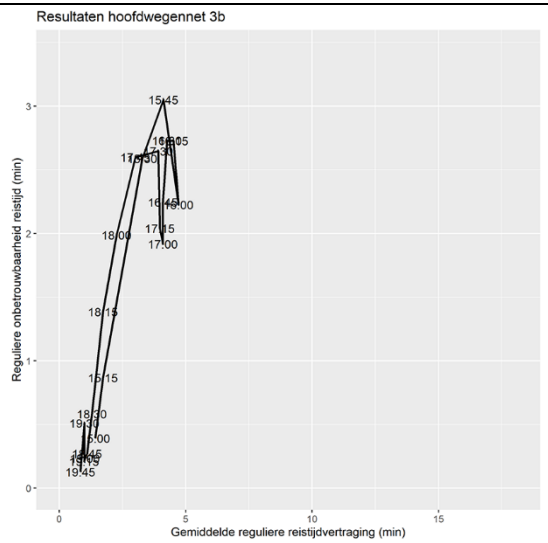
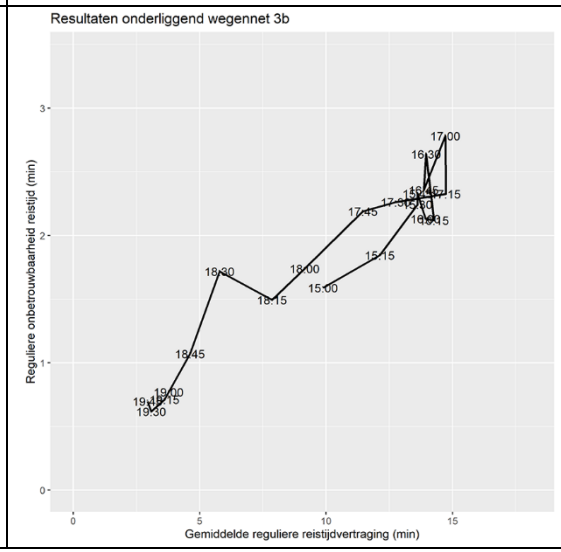




Route 3a Rotterdam – Den Haag via A20, A4, N211

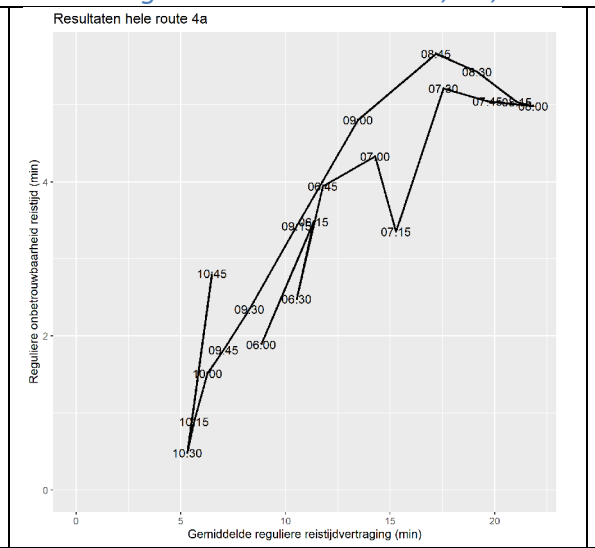
Ochtendspits			
Middagspits			

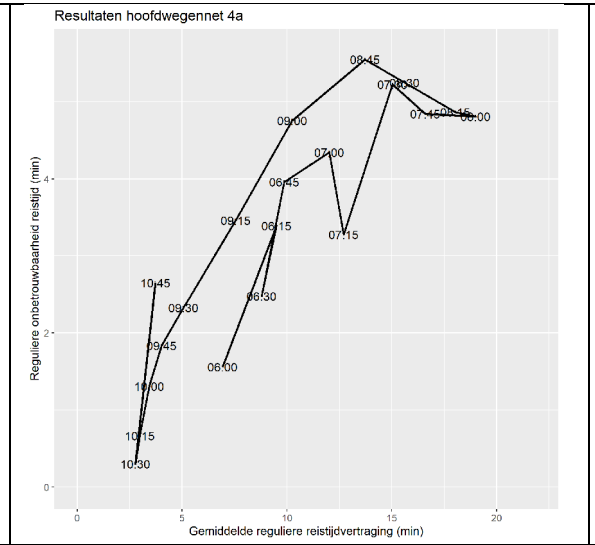
Route 3b Rotterdam – Den Haag via A20, A4, S106

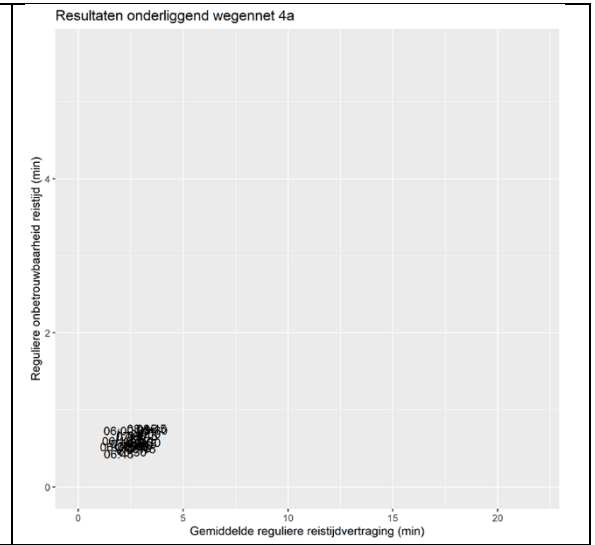
Ochtendspits			
Middagspits			

Route 4a Den Haag – Amsterdam via A12, A4, A10

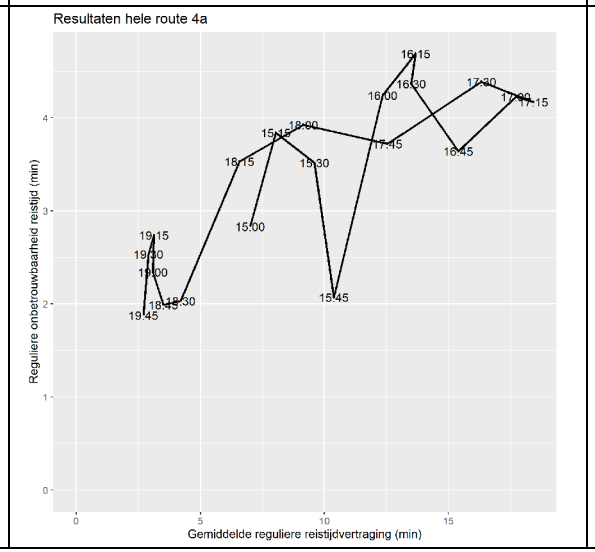
Ochtendspits

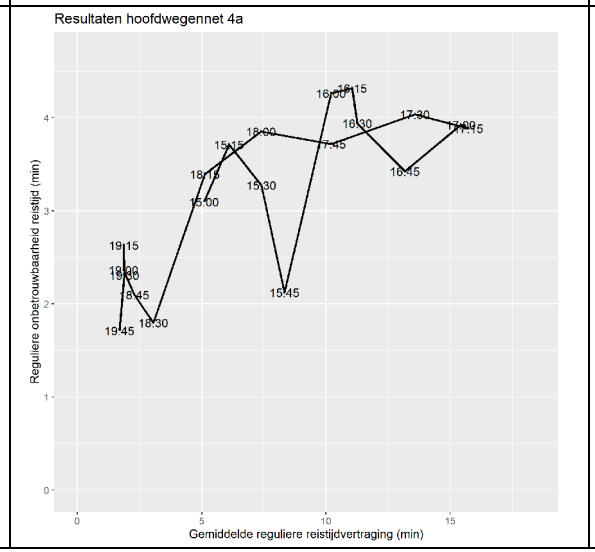


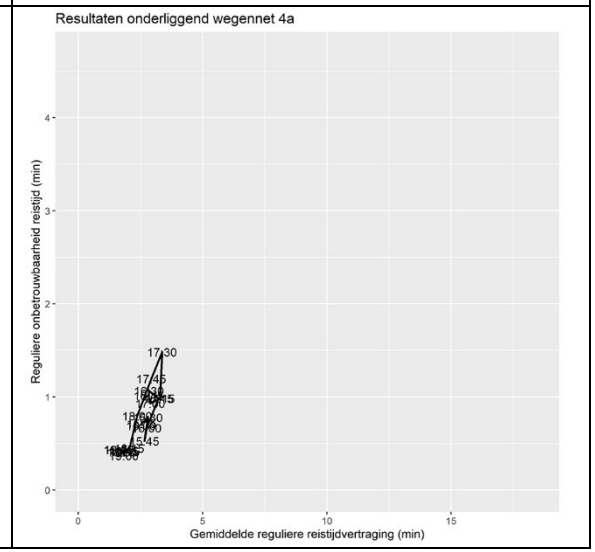




Middagspits

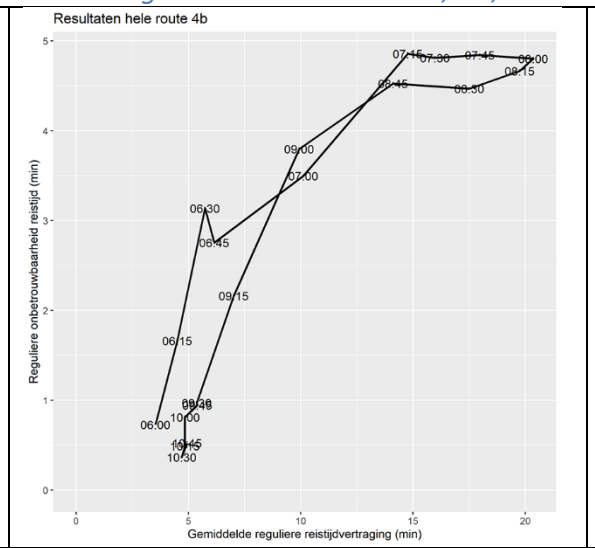


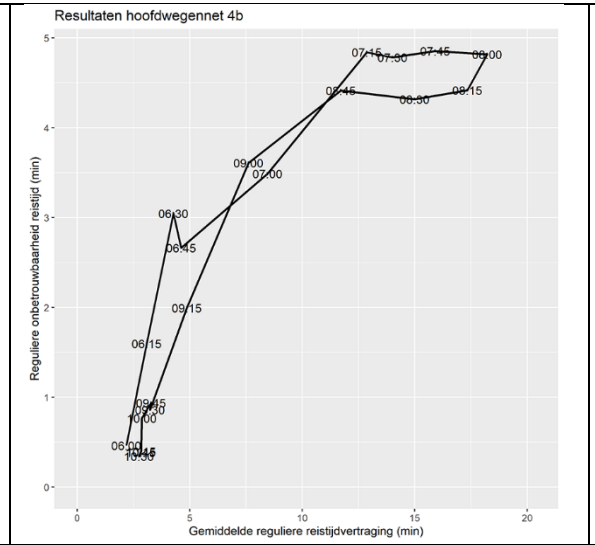


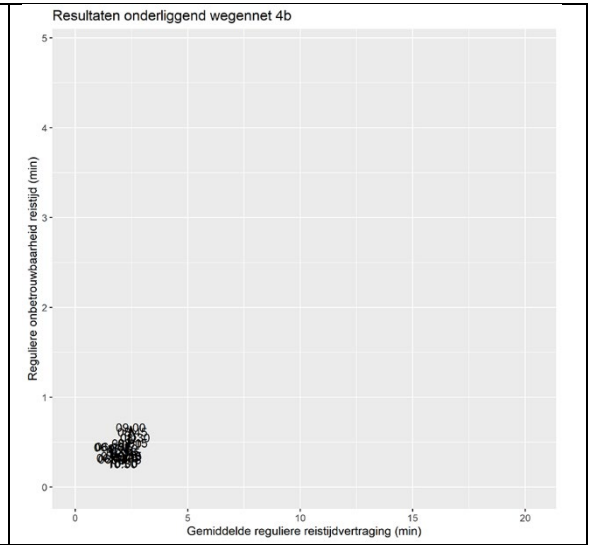


Route 4b Den Haag – Amsterdam via A44, A4, A10

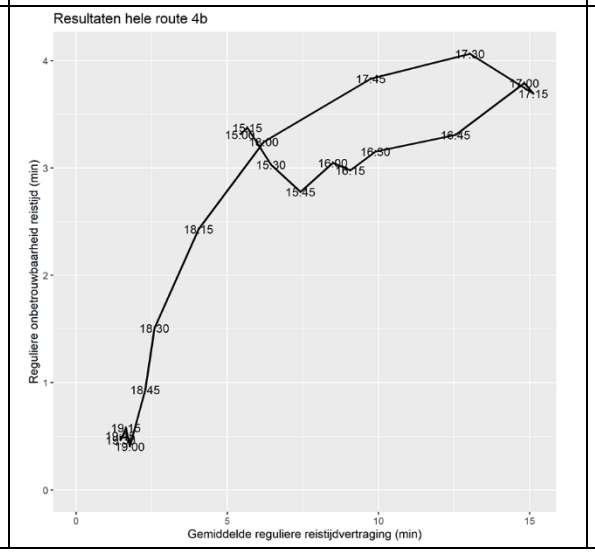
Ochtendspits

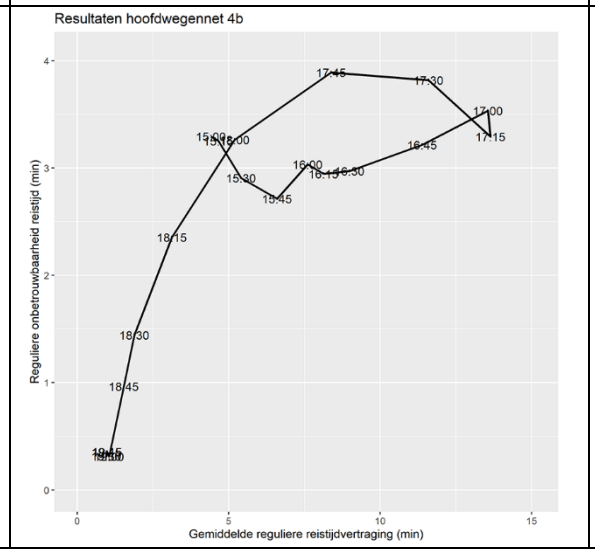


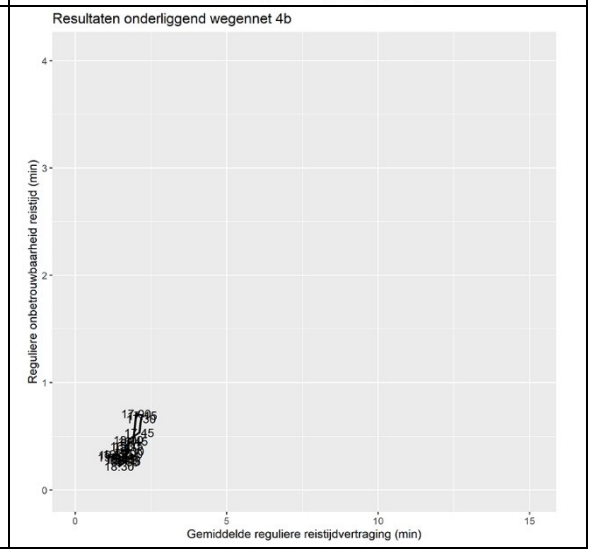




Middagspits

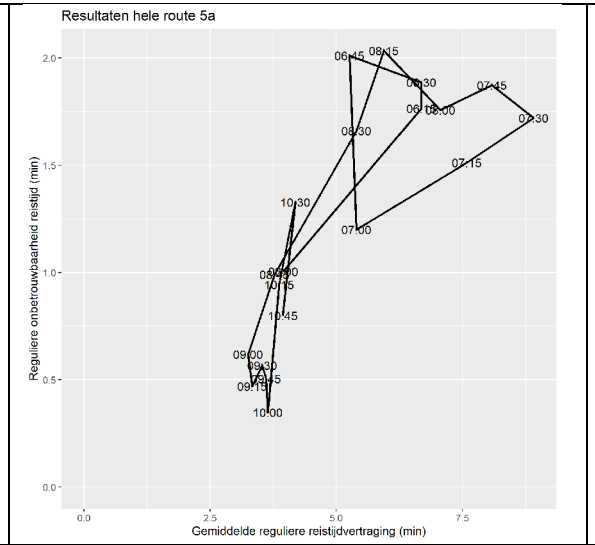


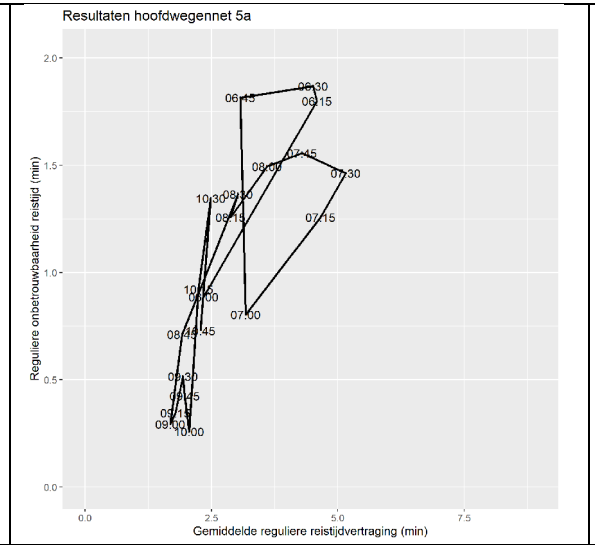


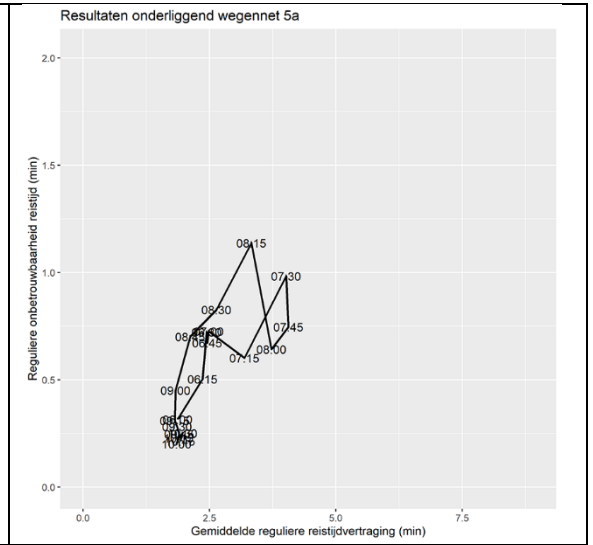


Route 5a Hellevoetsluis – Rotterdam via N57, A15, S102

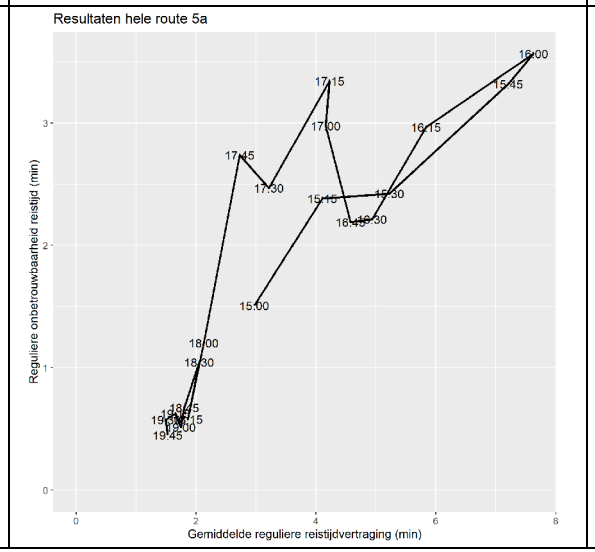
Ochtendspits

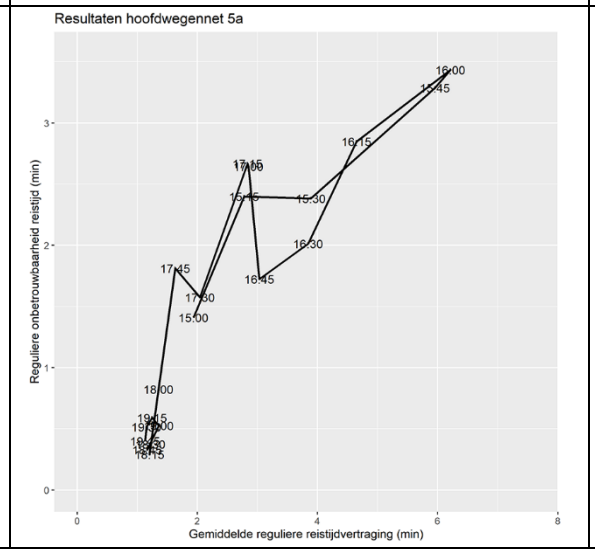


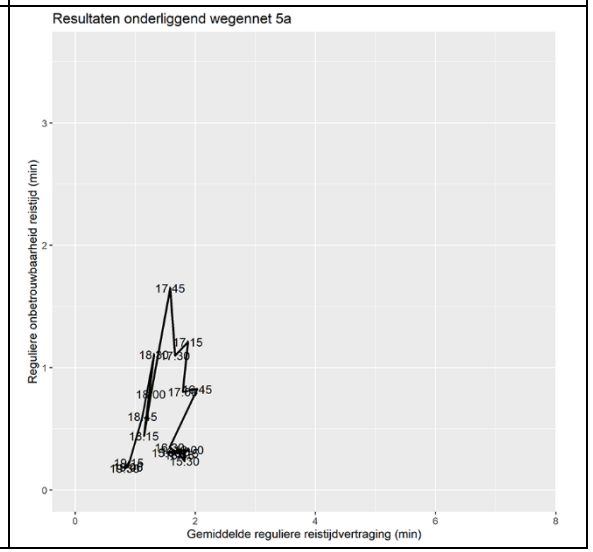




Middagspits

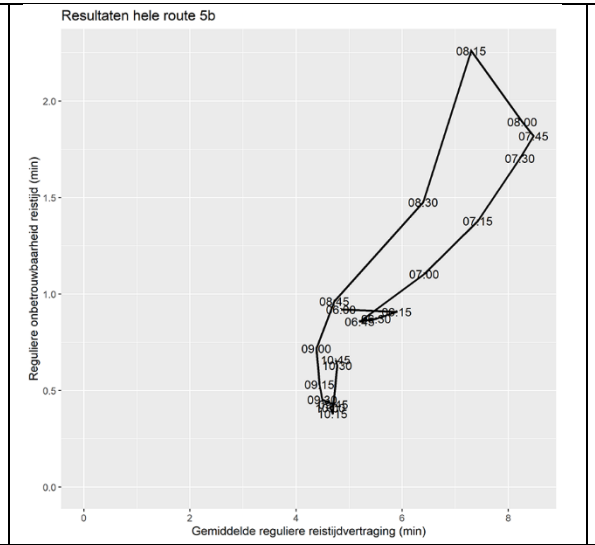


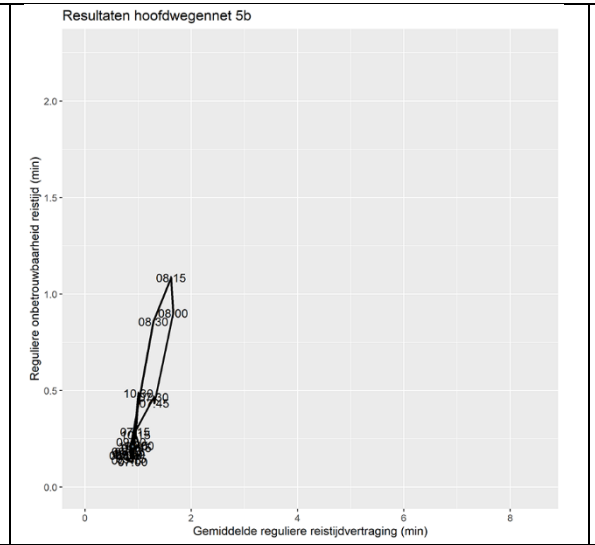


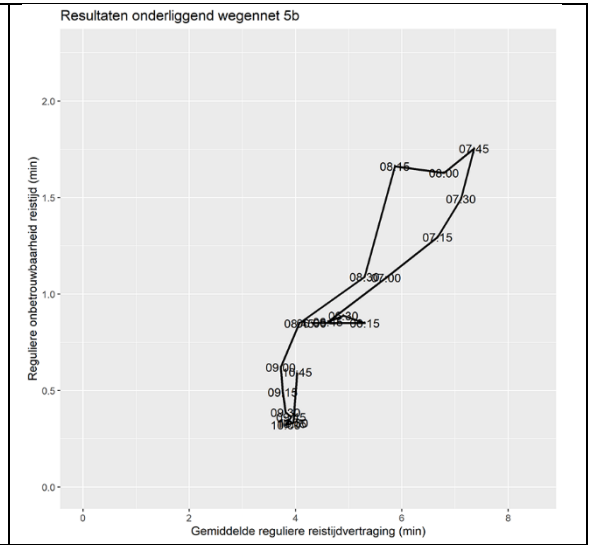


Route 5b Hellevoetsluis – Rotterdam via N494, N218, A15, S102

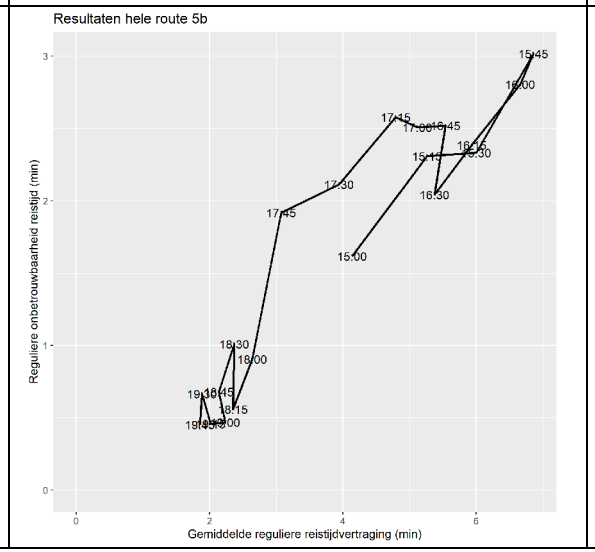
Ochtendspits

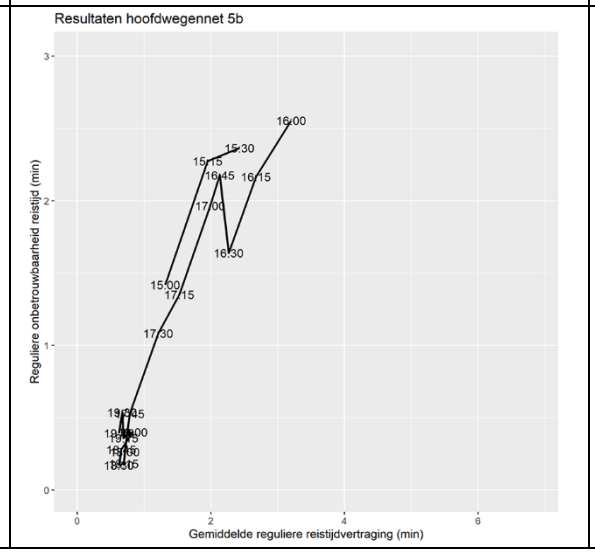


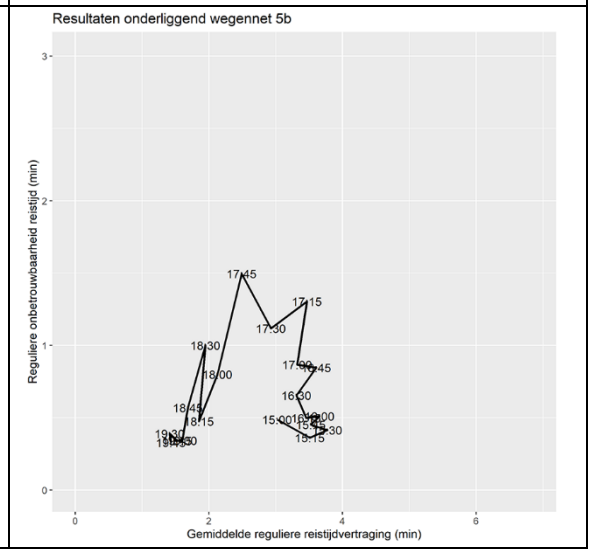




Middagspits

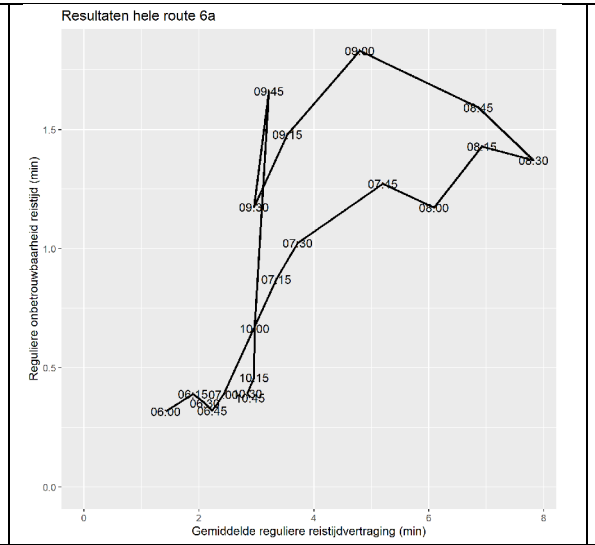


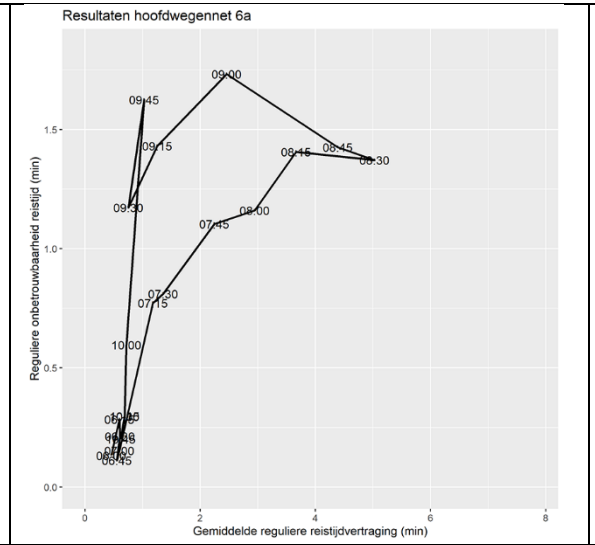


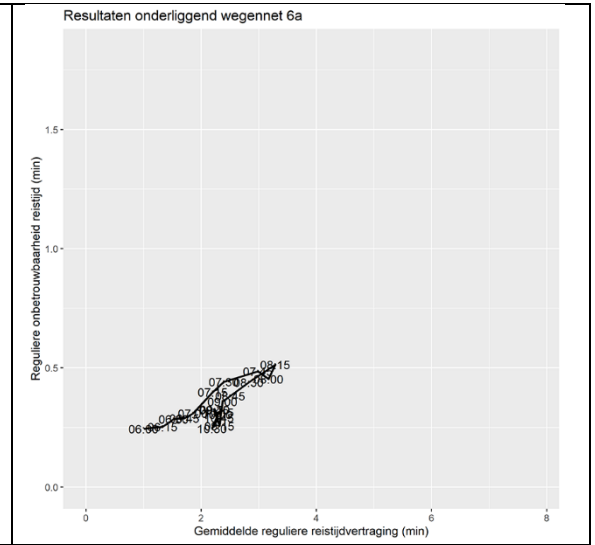


Route 6a Almere – Amstelveen via A6, A1, A9

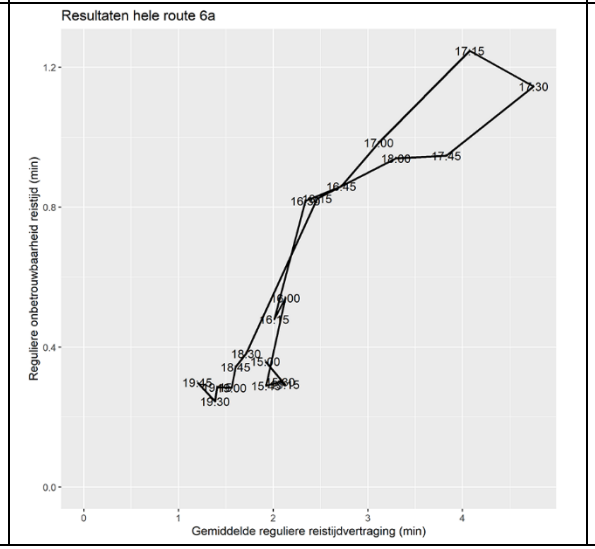
Ochtendspits

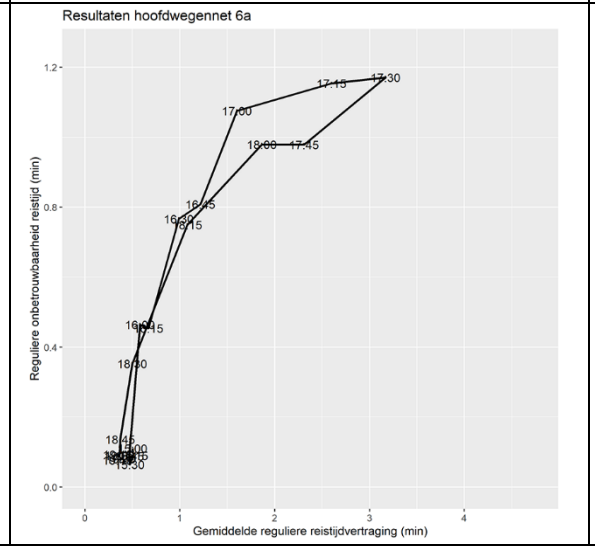


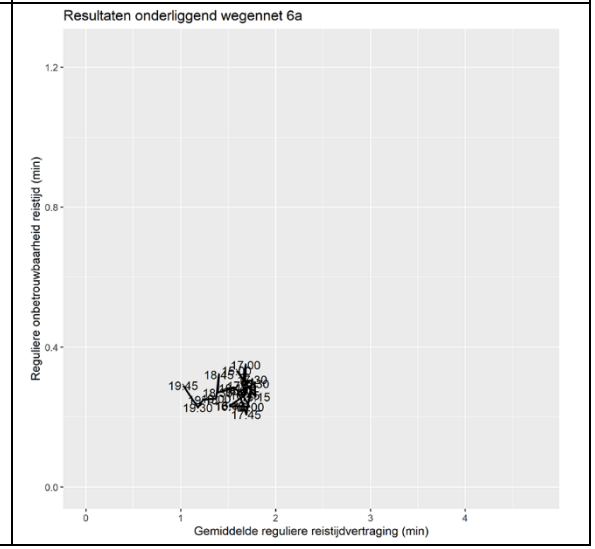




Middagspits

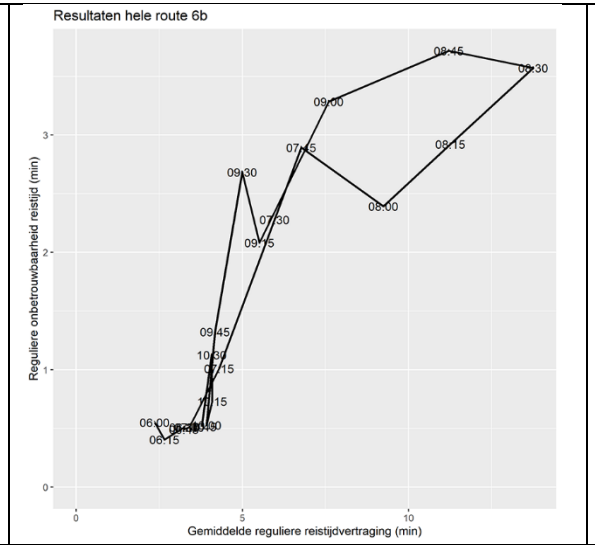


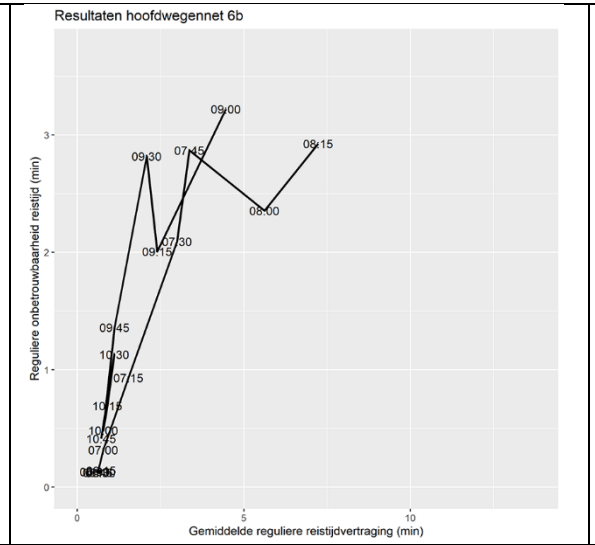


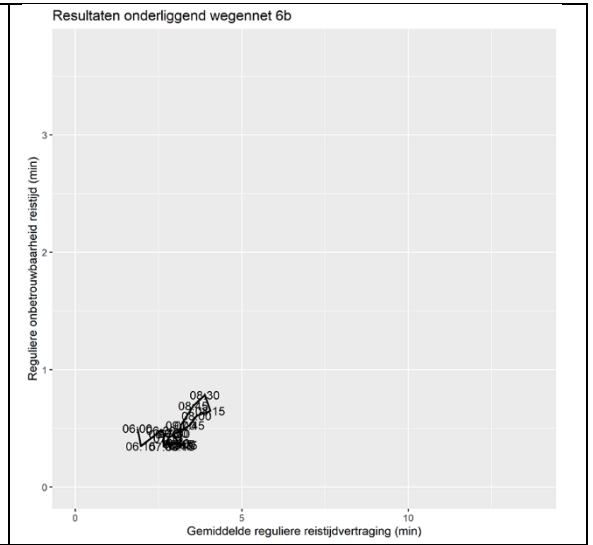


Route 6b Almere – Amstelveen via A6, A1, A10

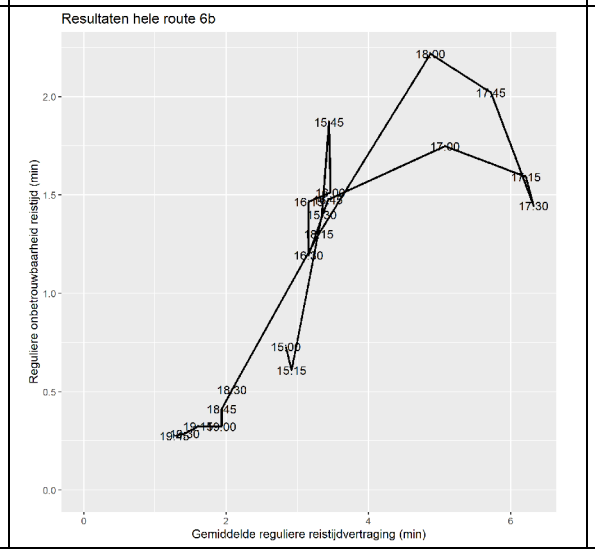
Ochtendspits

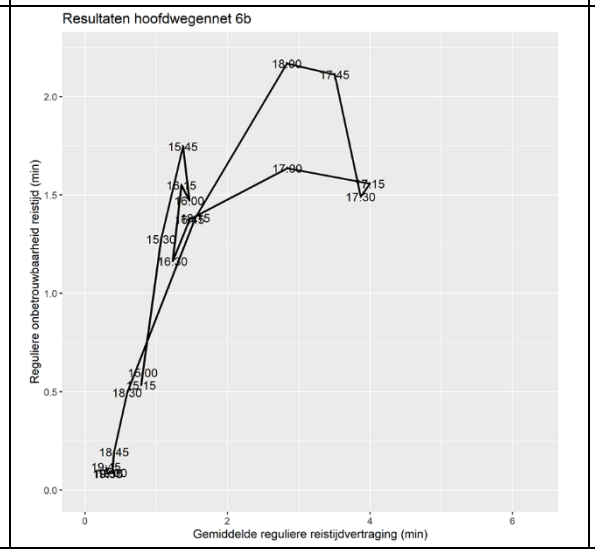


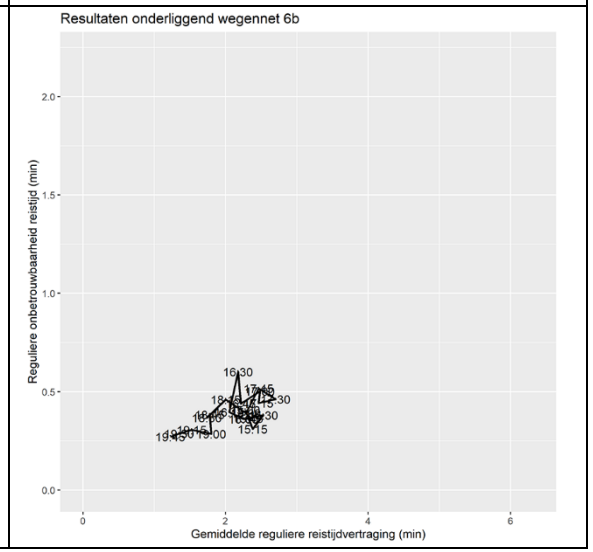




Middagspits

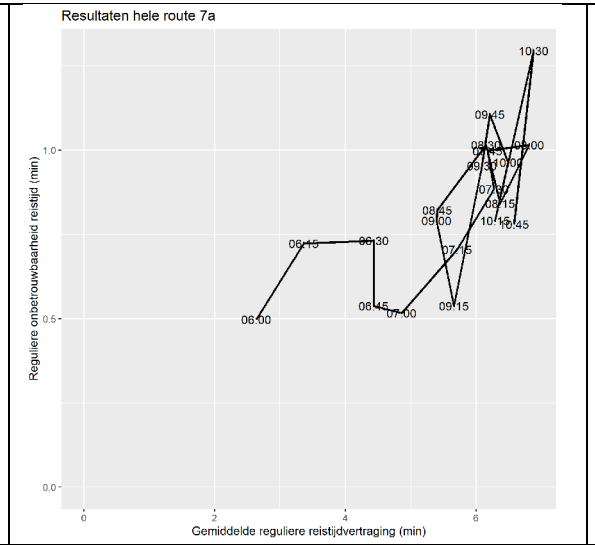


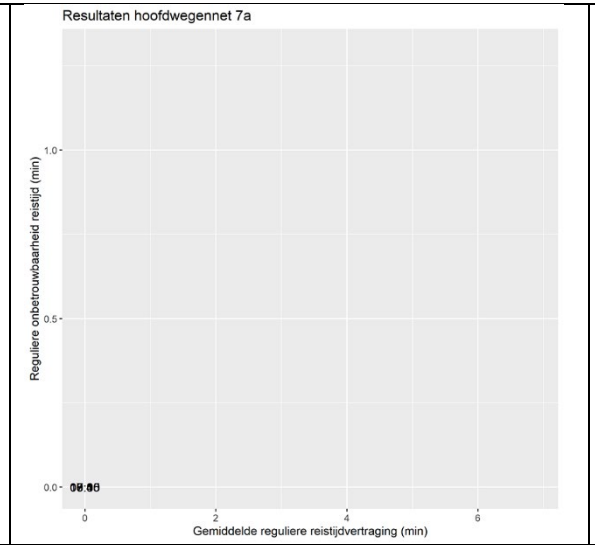


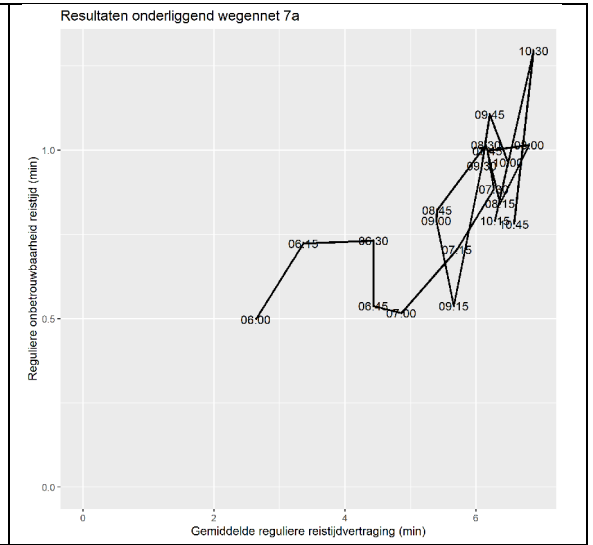


Route 7a Leudal – Venlo via N562, N275

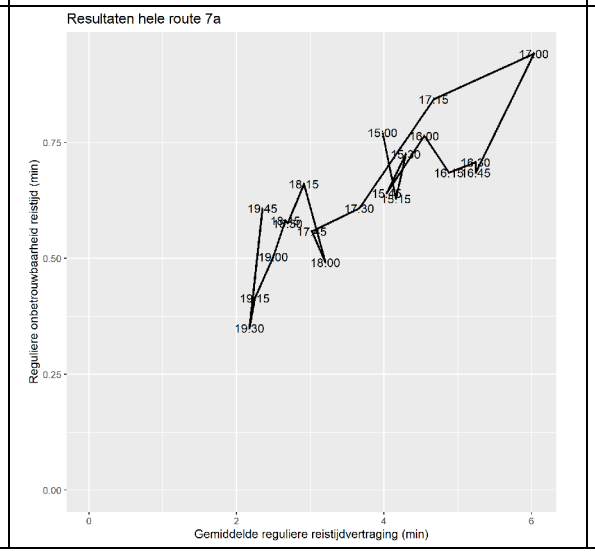
Ochtendspits

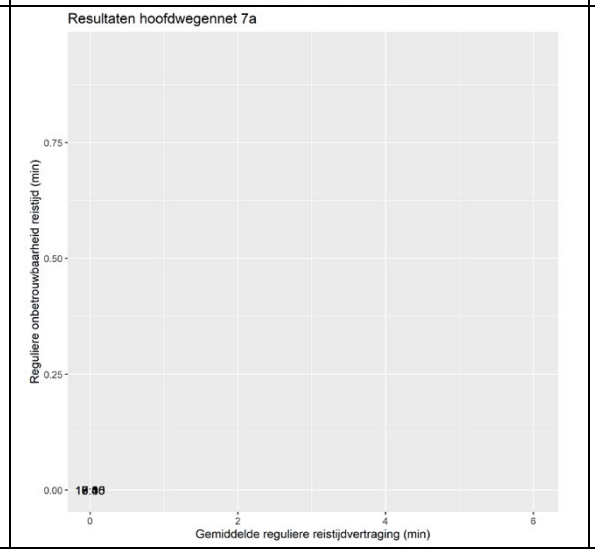


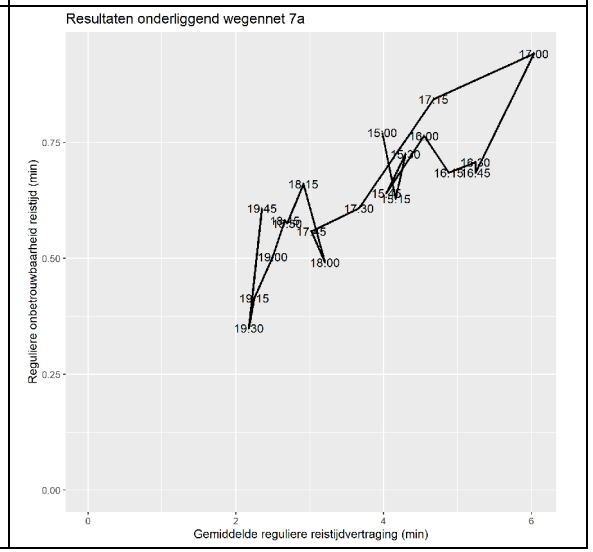




Middagspits

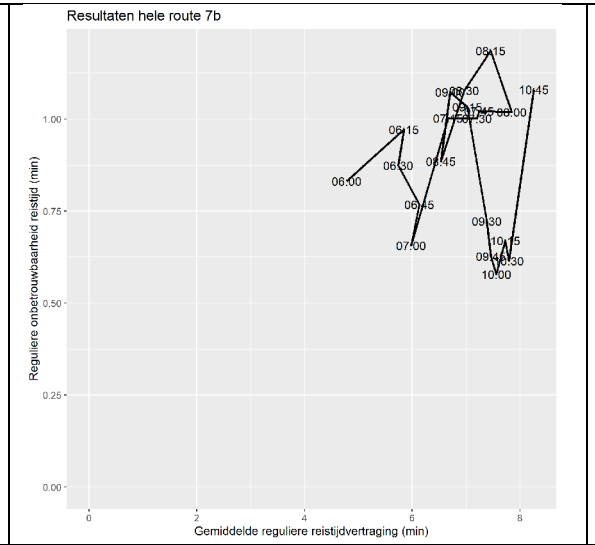


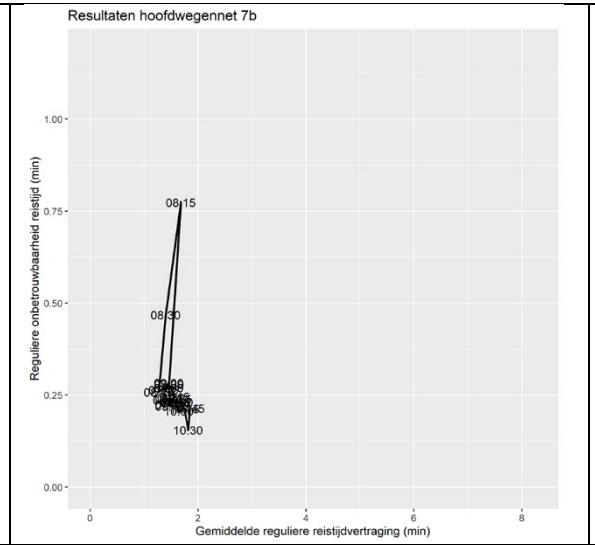


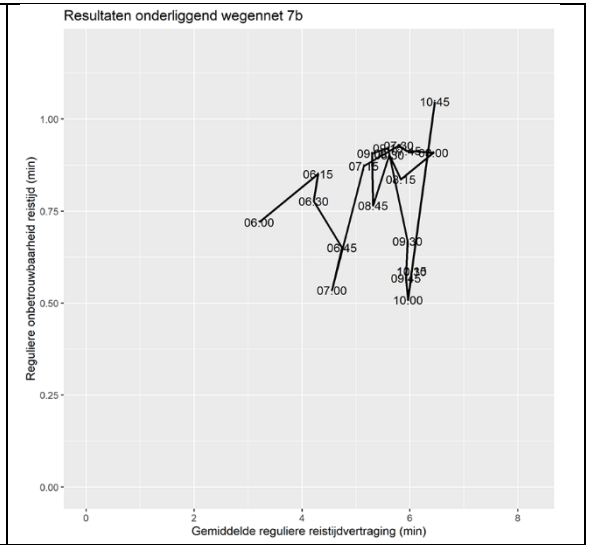


Route 7b Leudal – Venlo via N279, N275, A67, A73

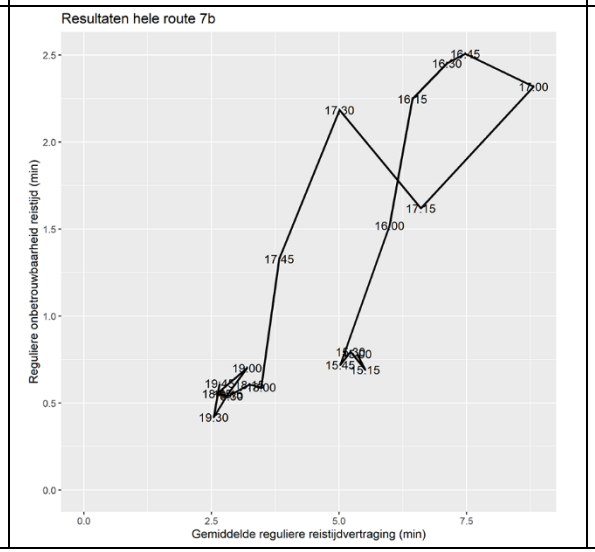
Ochtendspits

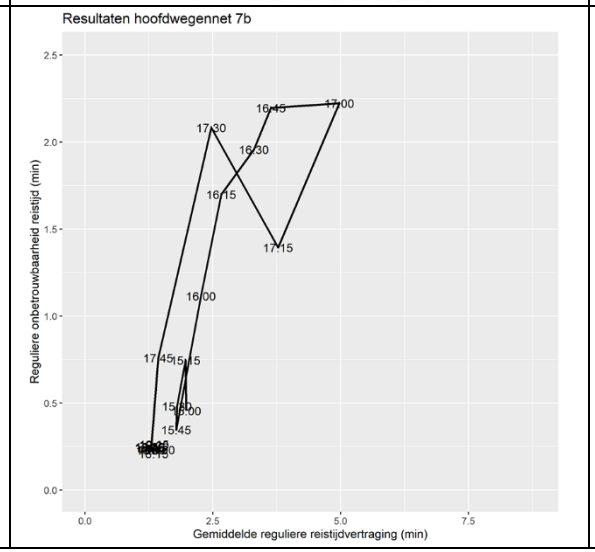


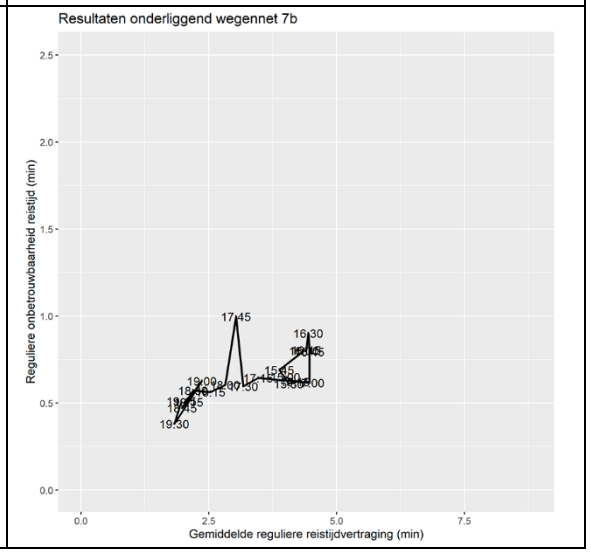




Middagspits

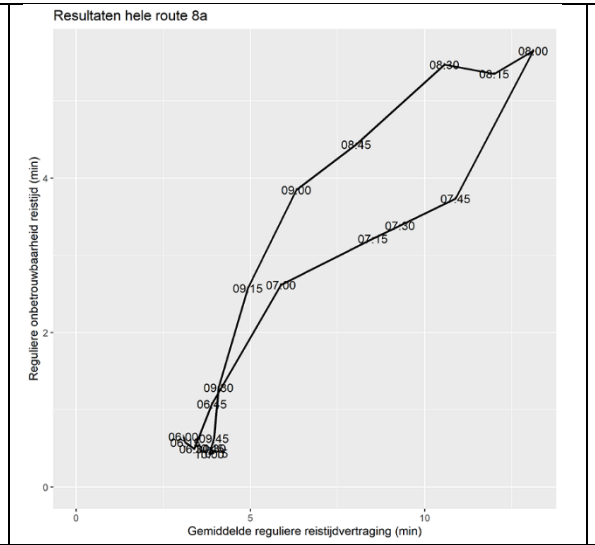


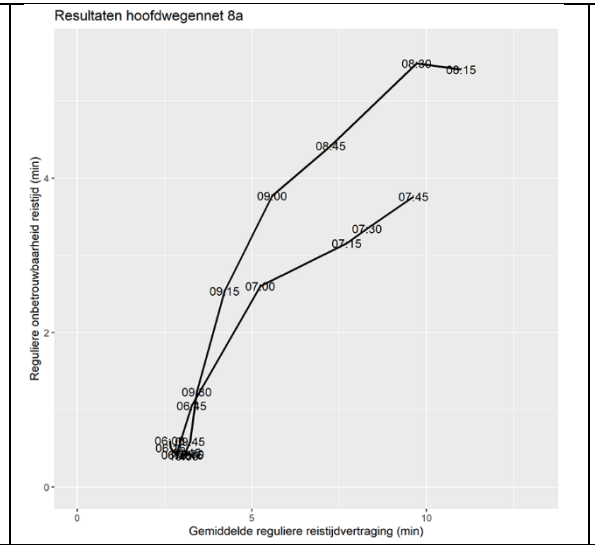


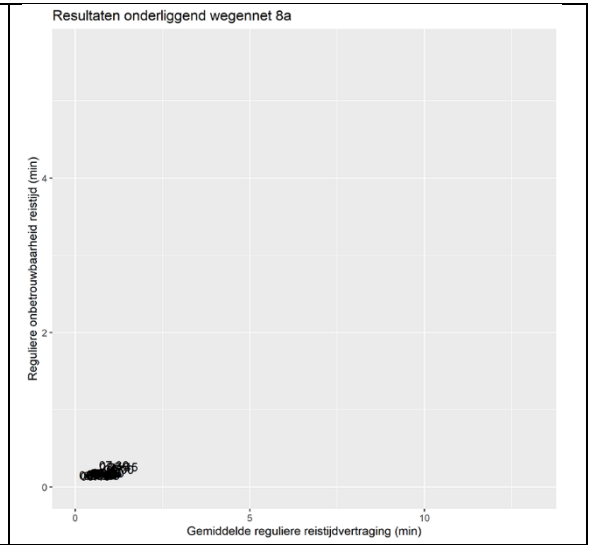


Route 8a Breda – Den Bosch via A27, A59, A2

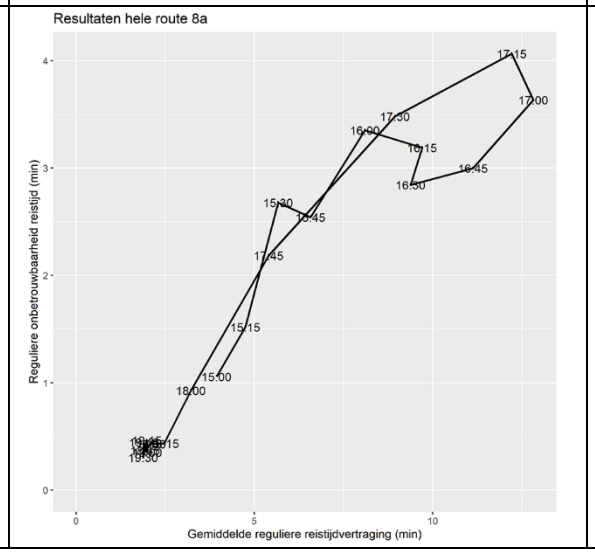
Ochtendspits

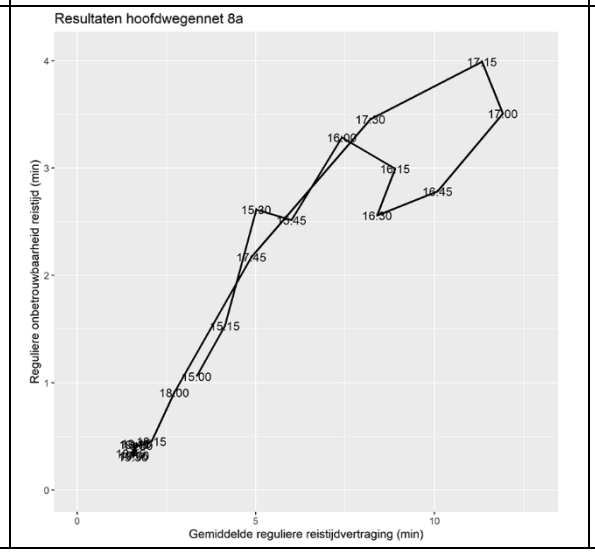


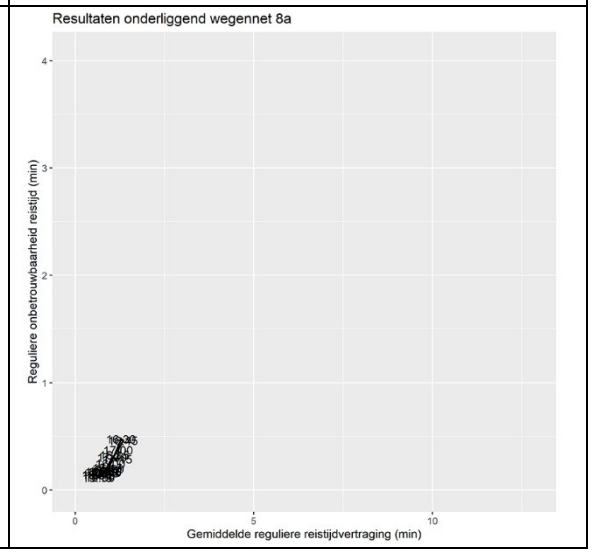




Middagspits

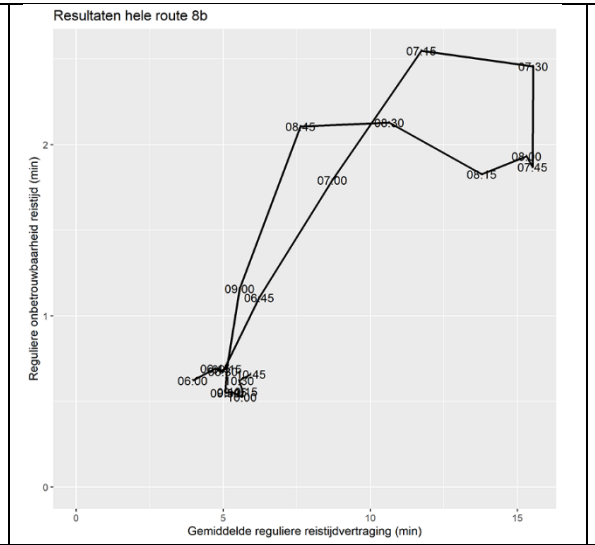


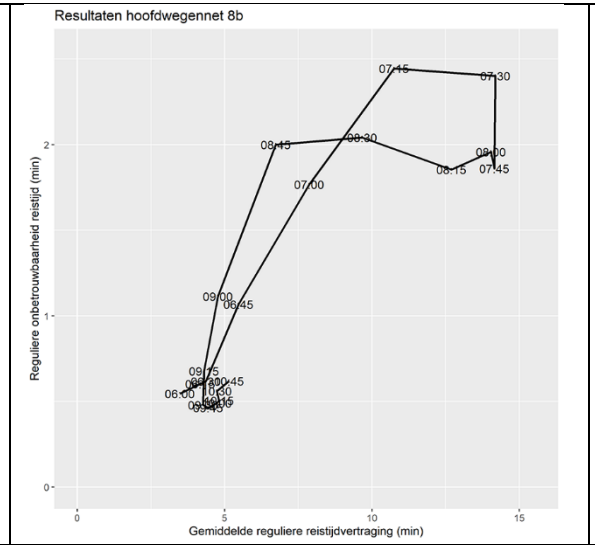


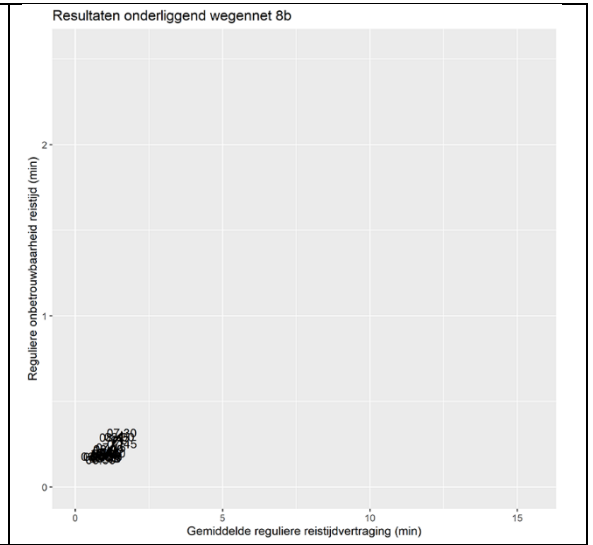


Route 8b Breda – Den Bosch via A27, A58, N65, A2

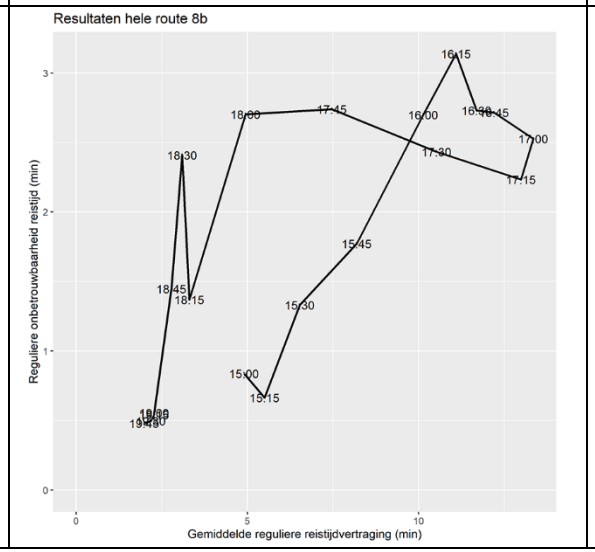
Ochtendspits

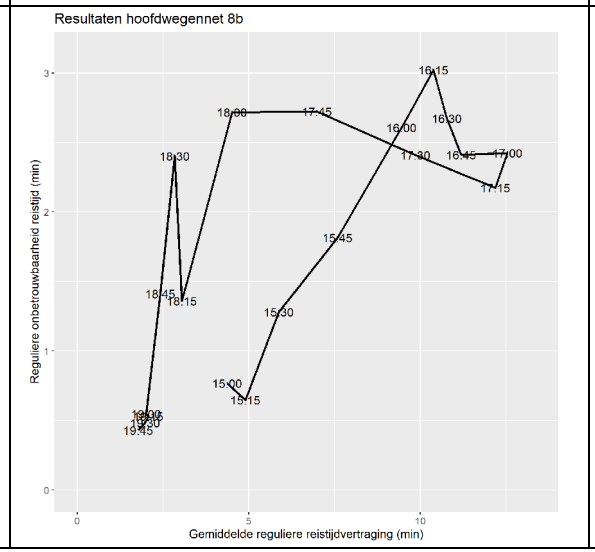


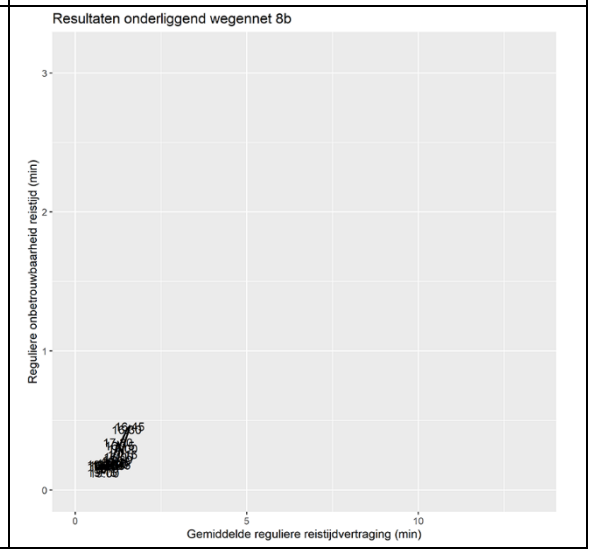




Middagspits

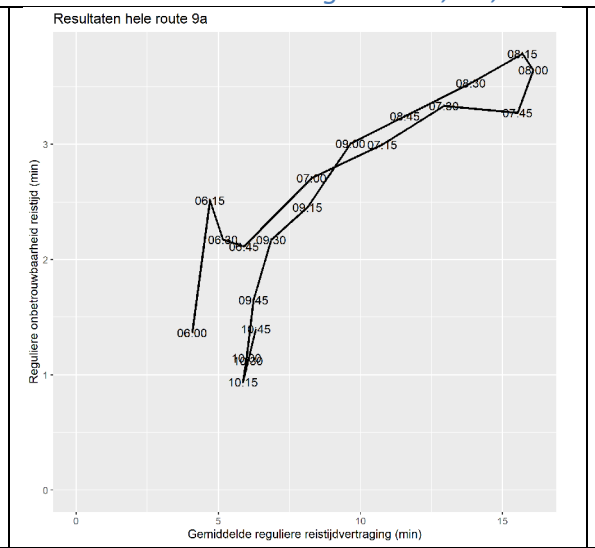


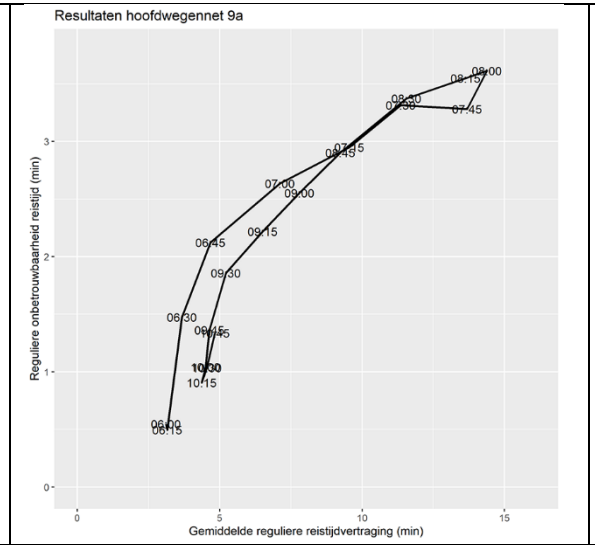


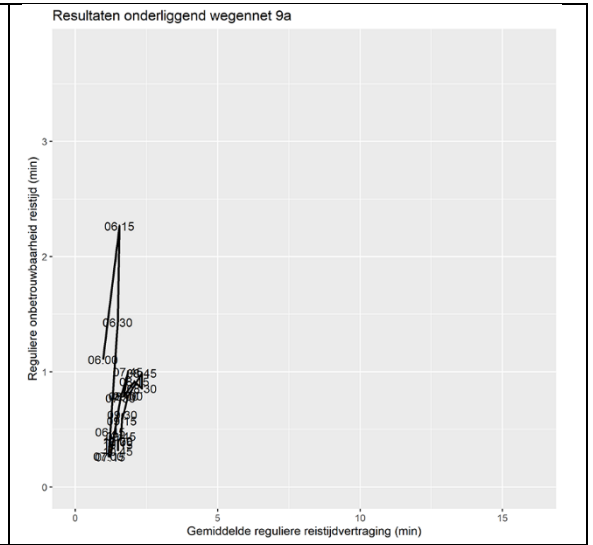


Route 9a Amsterdam – Den Haag via A10, A4, N14

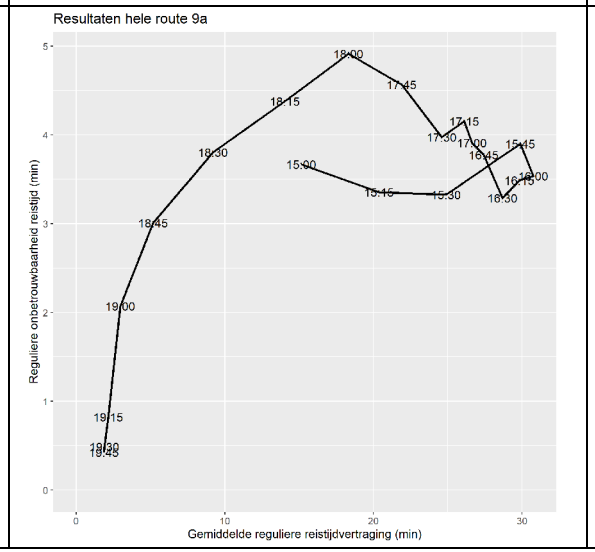
Ochtendspits

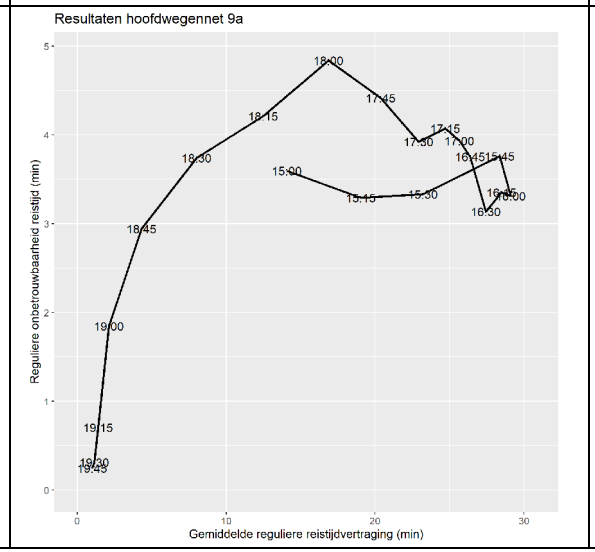


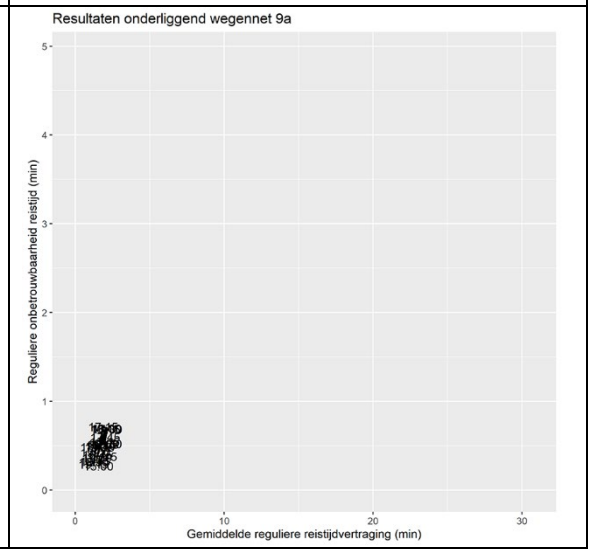




Middagspits

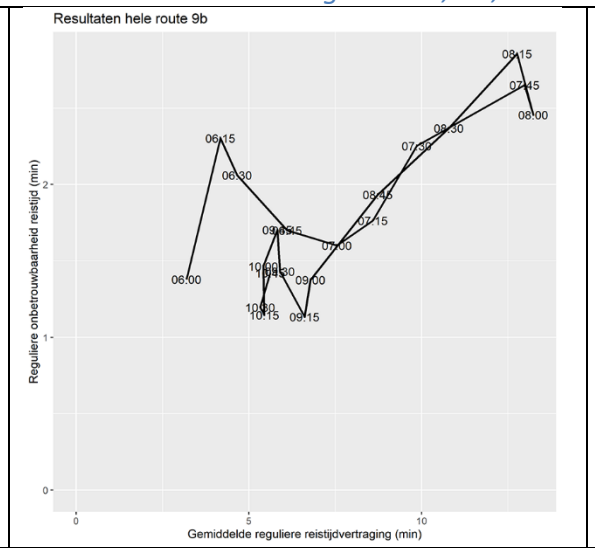


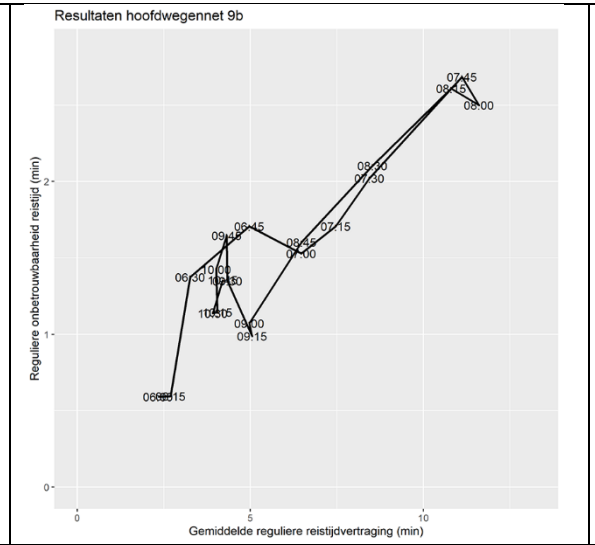


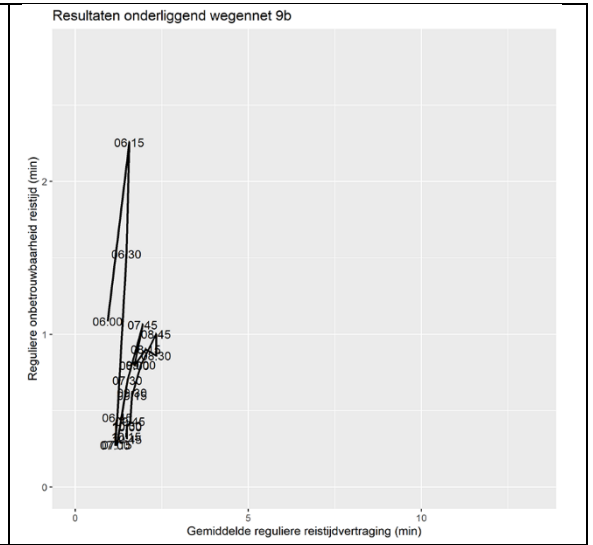


Route 9b Amsterdam – Den Haag via A10, A4, A44

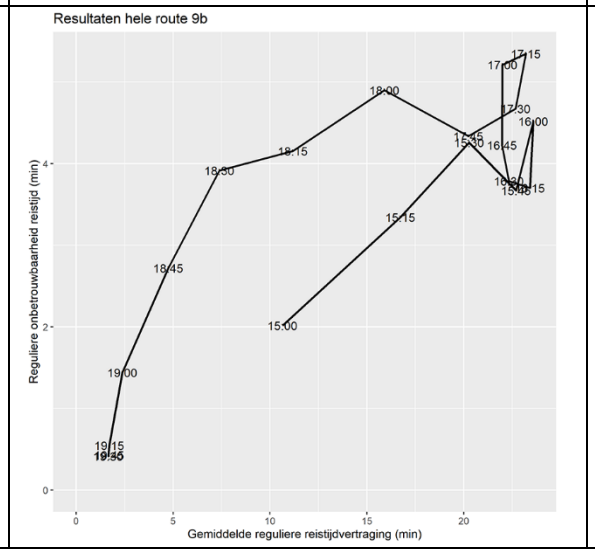
Ochtendspits

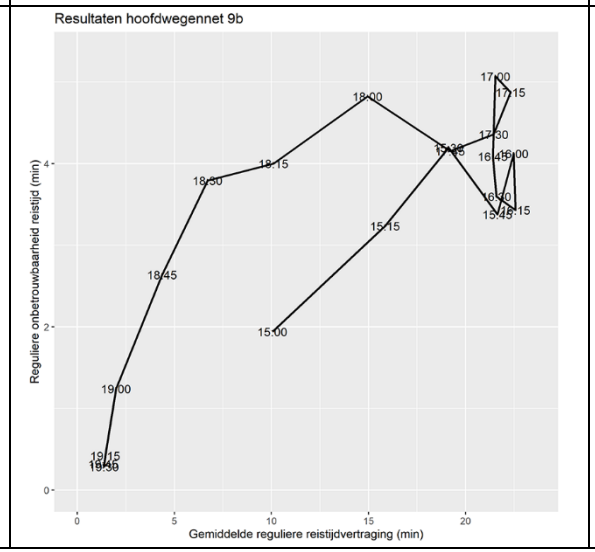


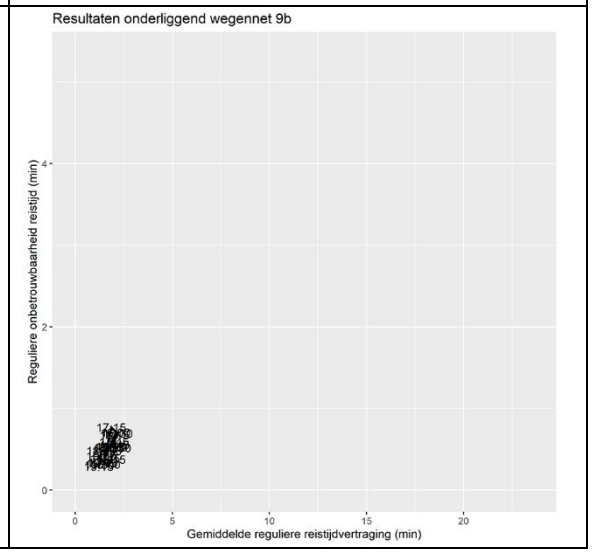




Middagspits

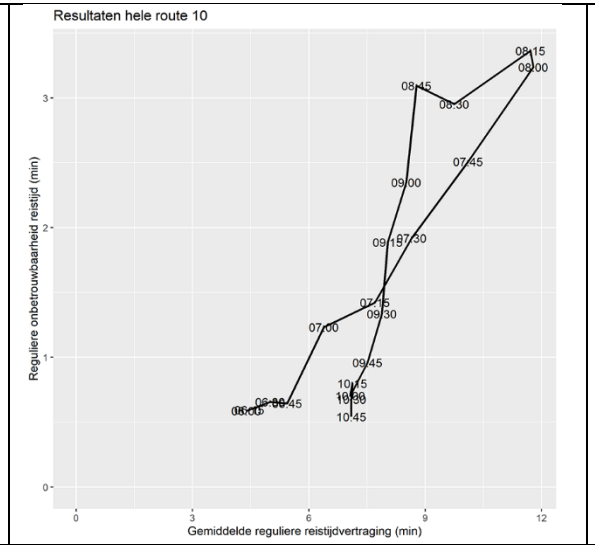


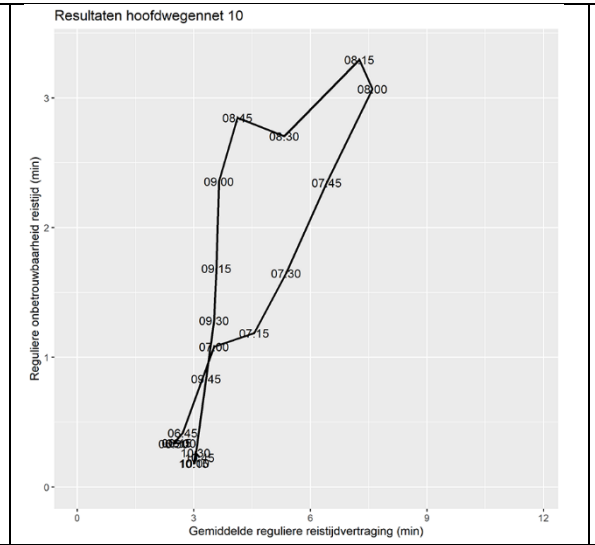


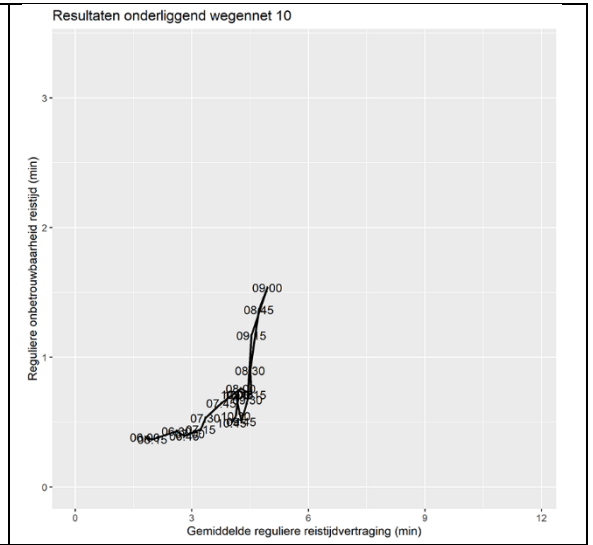


Route 10 Amsterdam – Utrecht via A2, A12, A27

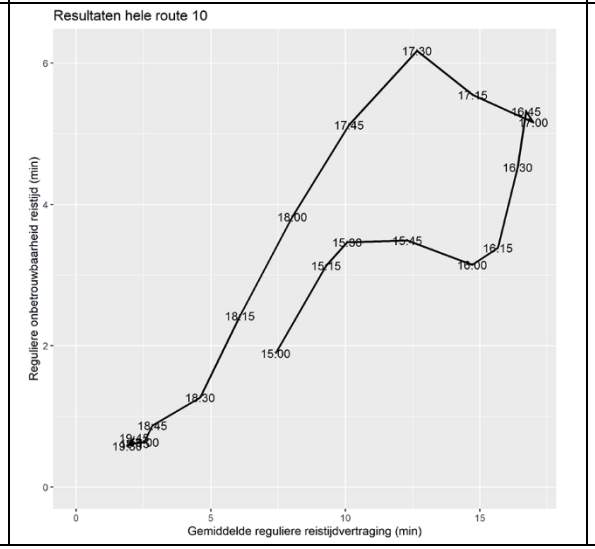
Ochtendspits

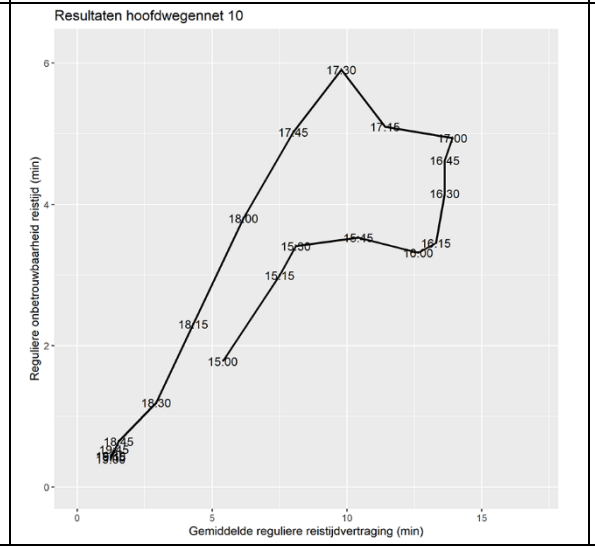


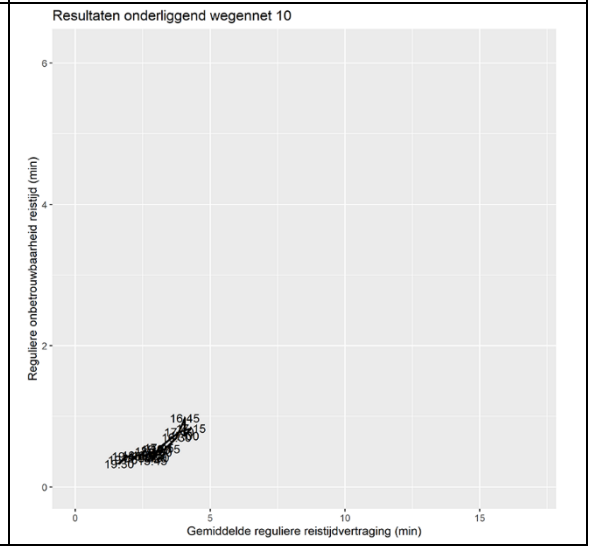




Middagspits

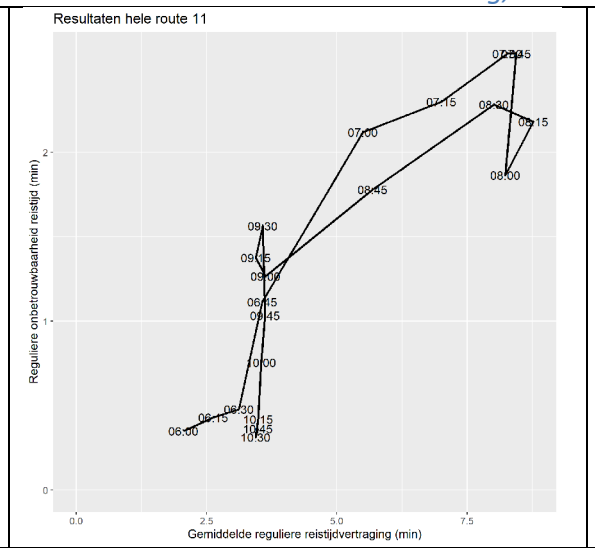


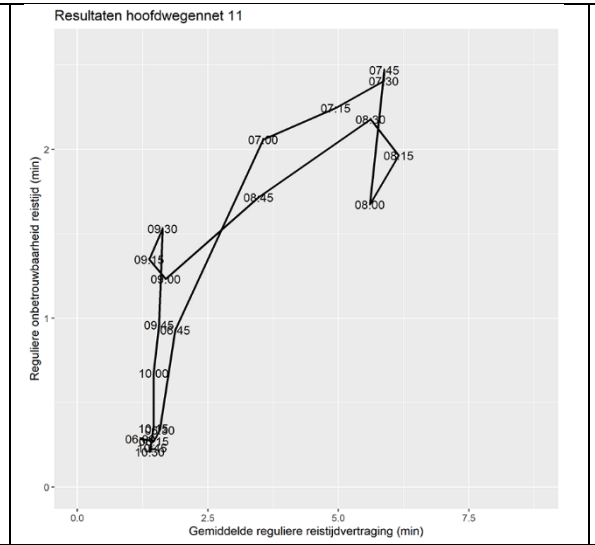


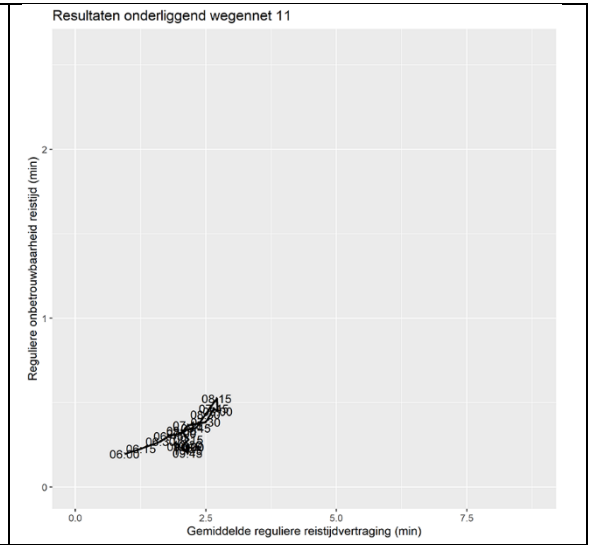


Route 11 Den Bosch – Eindhoven via Randweg, A2

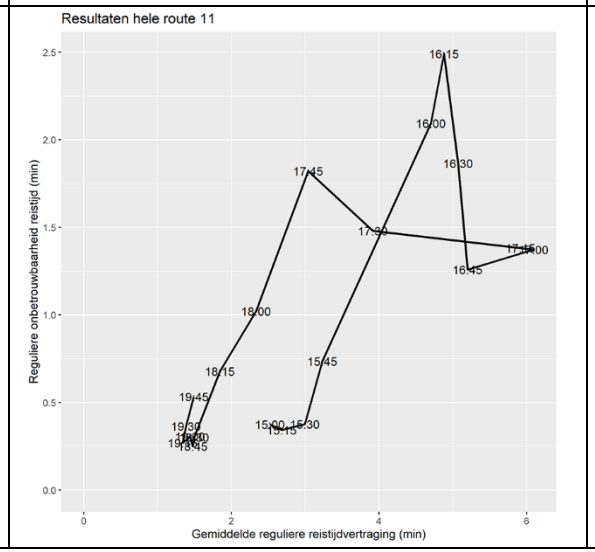
Ochtendspits

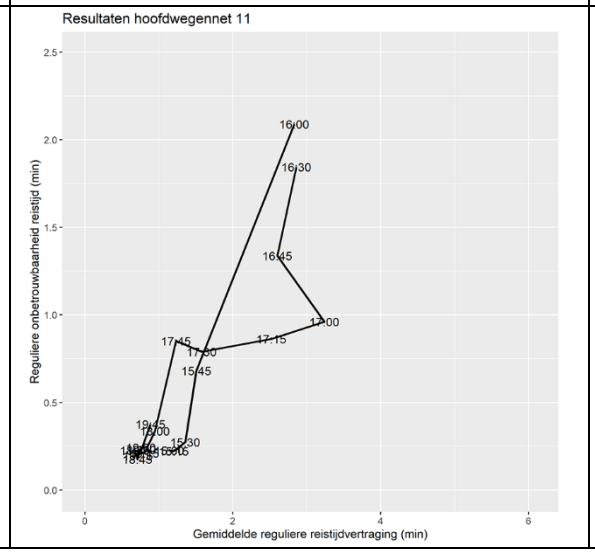


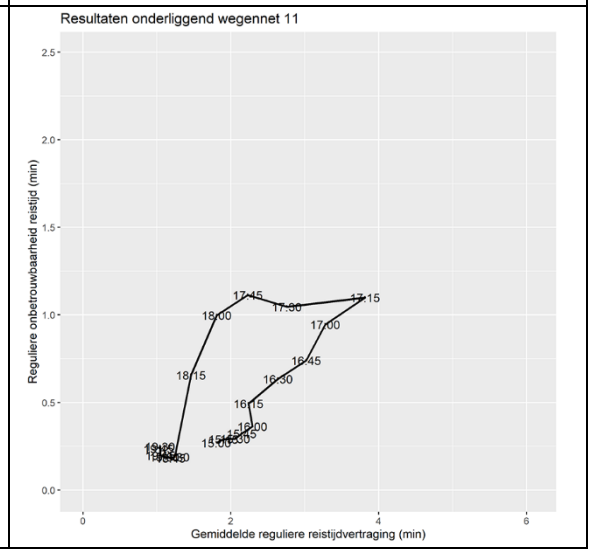




Middagspits

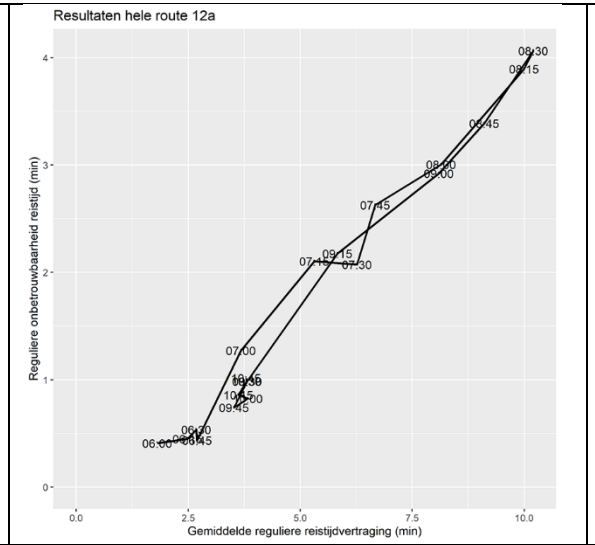


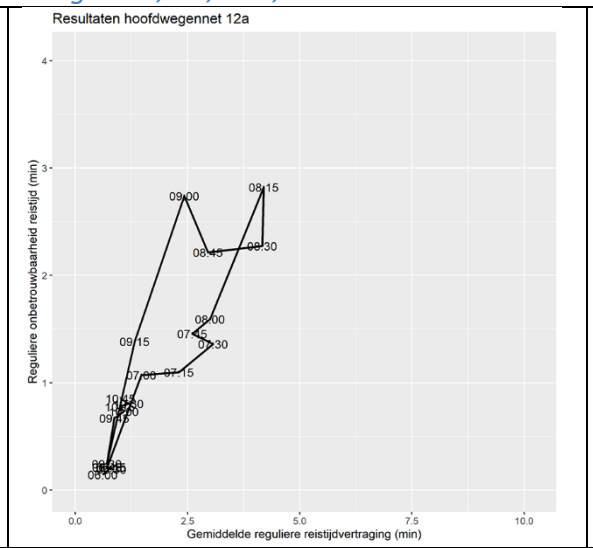


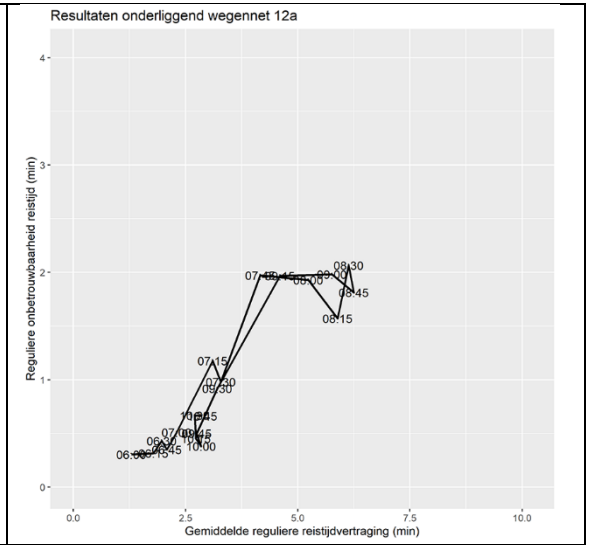


Route 12a Heemskerk – Amsterdam via Communicatieweg-west, A8, A10, S116

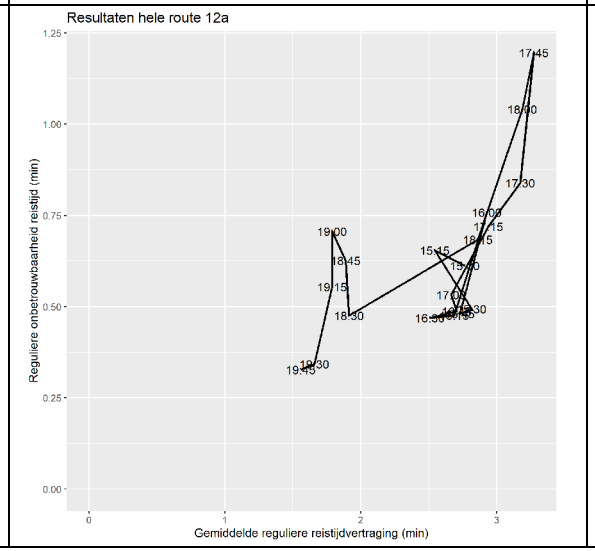
Ochtendspits

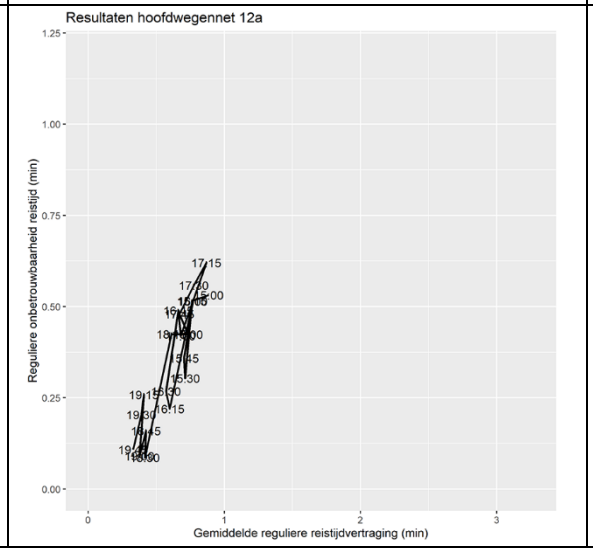


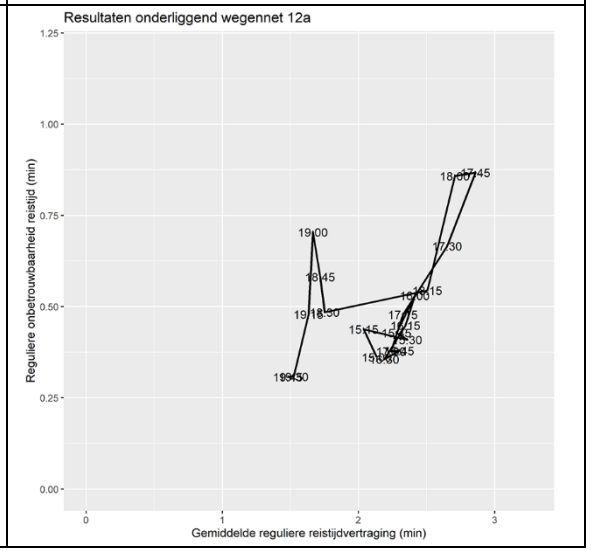




Middagspits

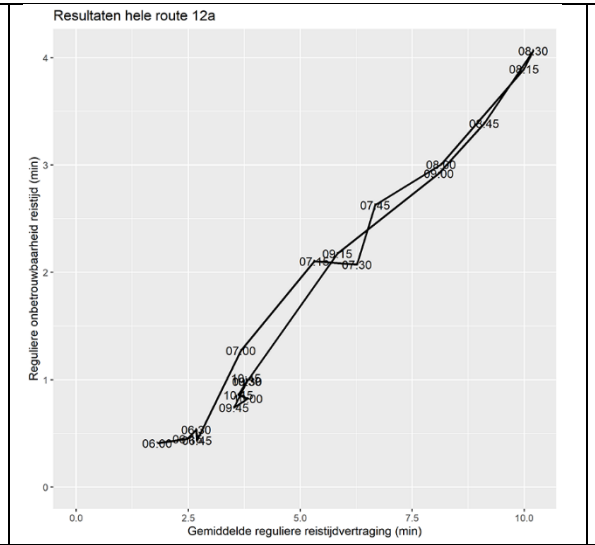


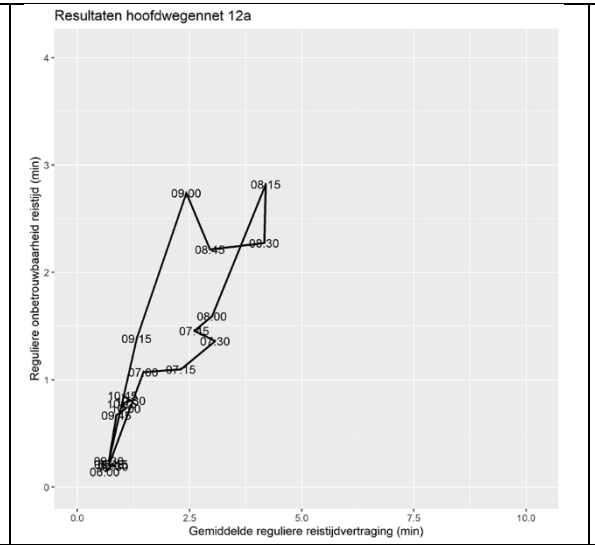


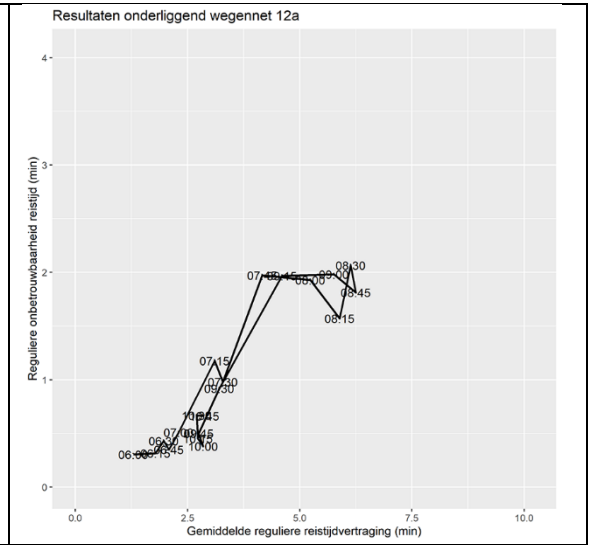


Route 12b Heemskerk – Amsterdam via A9, A5, A10, S116

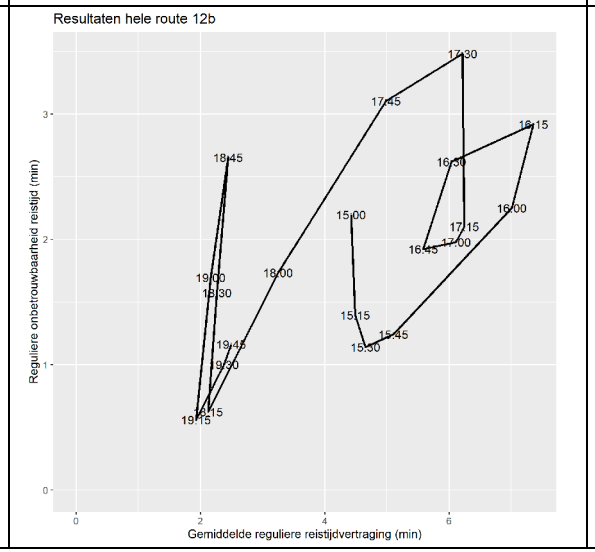
Ochtendspits

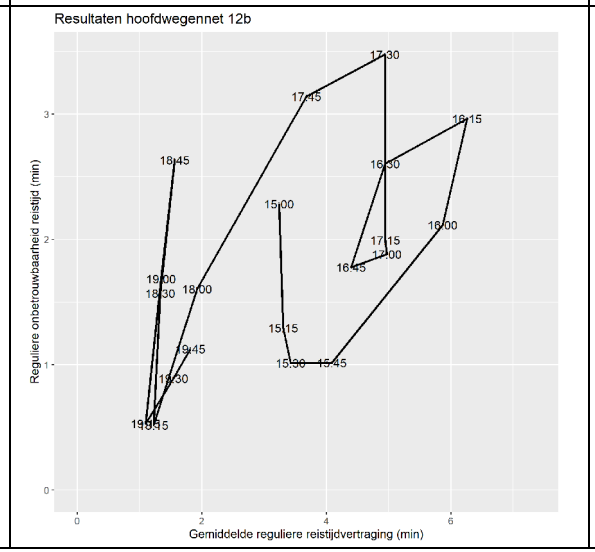


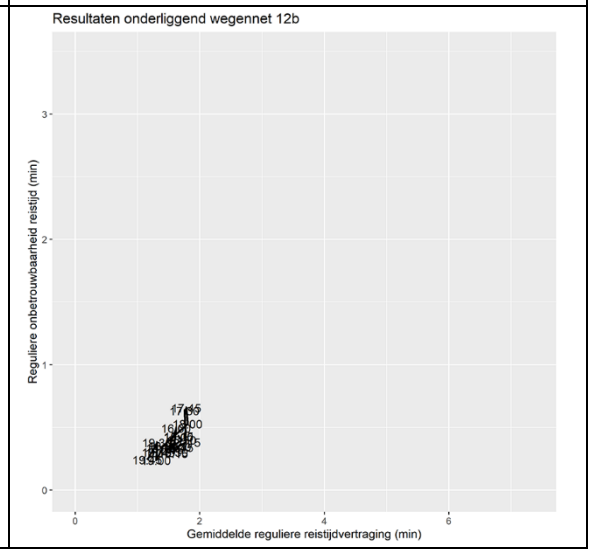




Middagspits

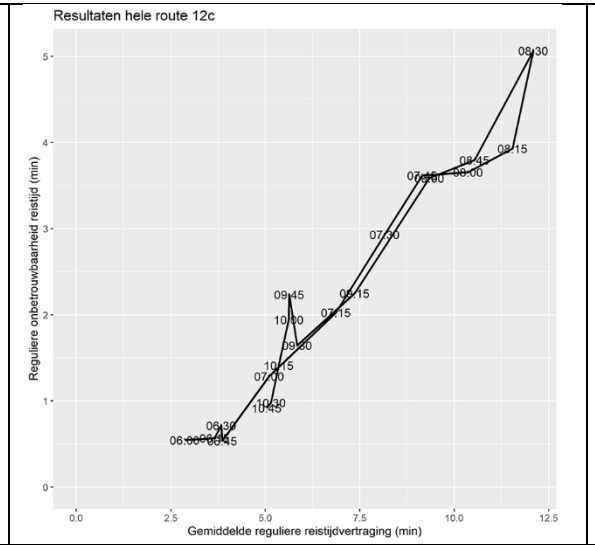


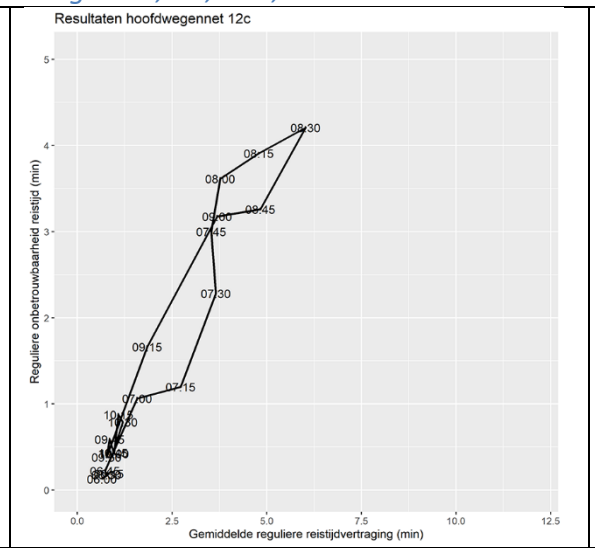


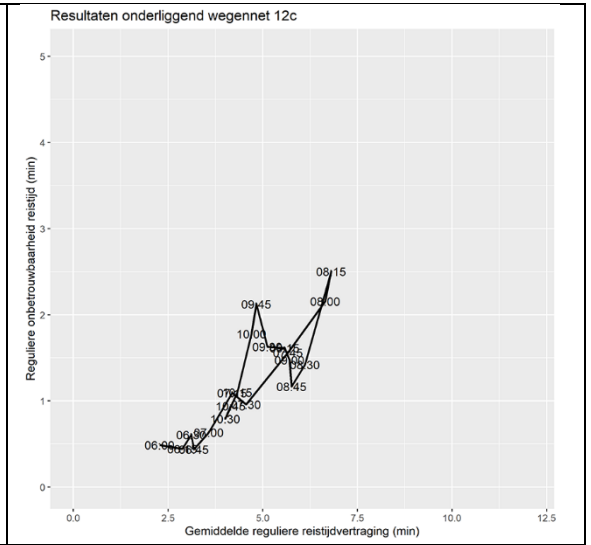


Route 12c Heemskerk – Amsterdam via Communicatieweg-west, A8, A10, S112

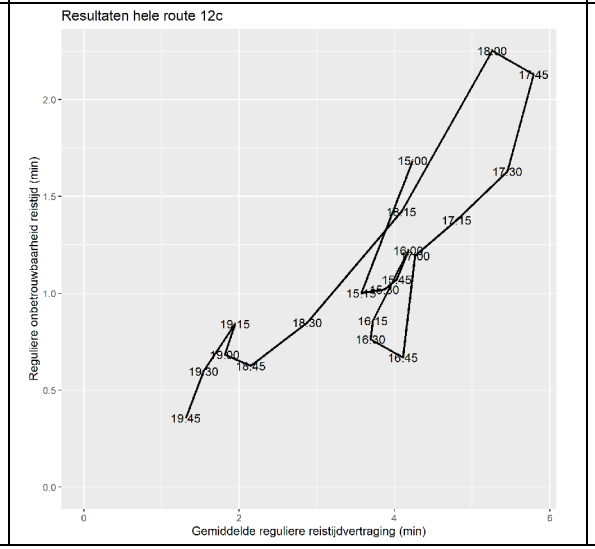
Ochtendspits

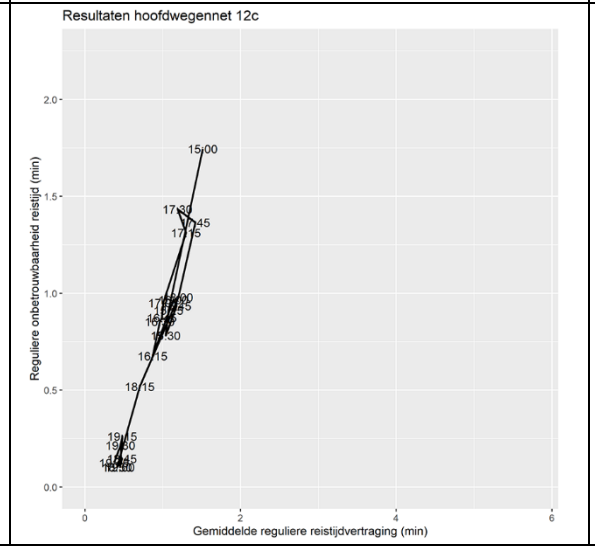


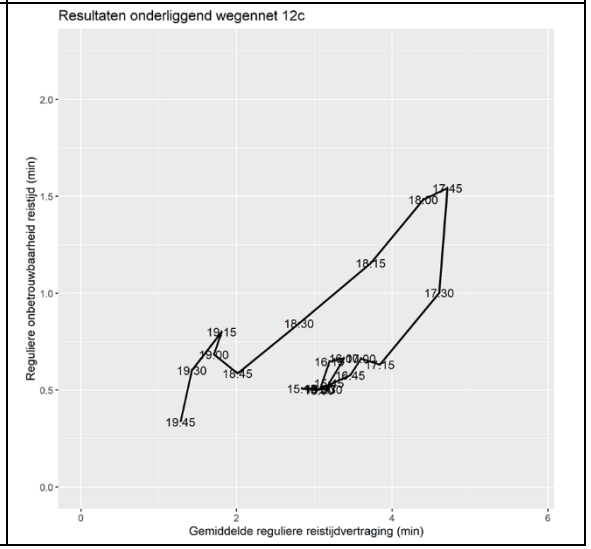




Middagspits

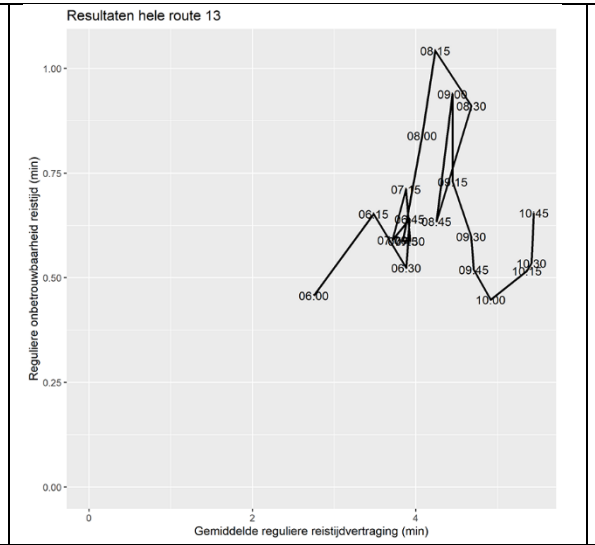


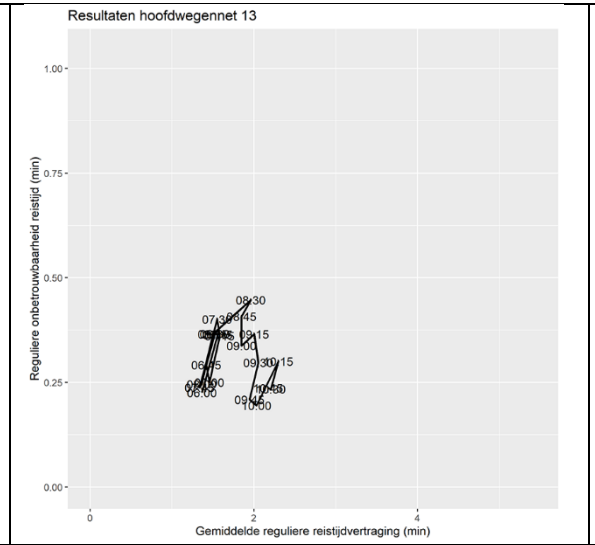


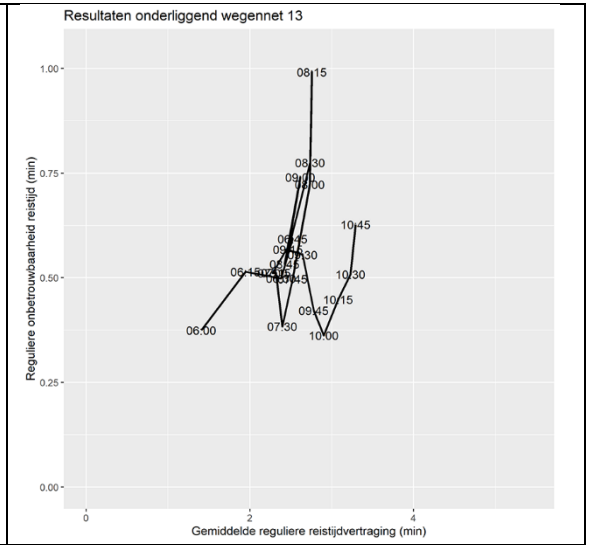


Route 13 Sluis – Terneuzen via N674, N253, N61, N682

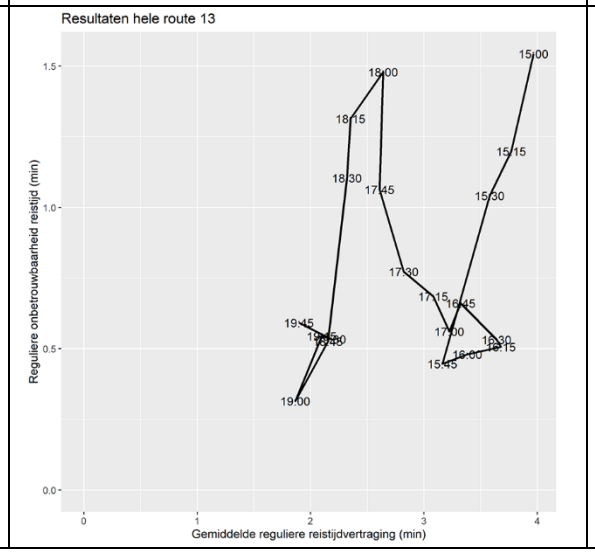
Ochtendspits

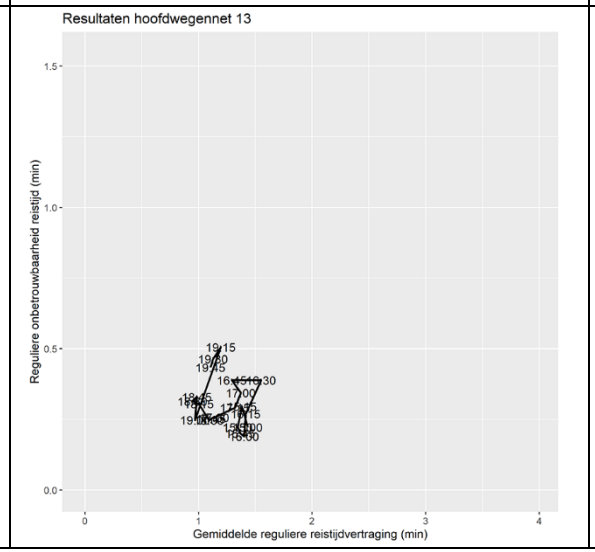


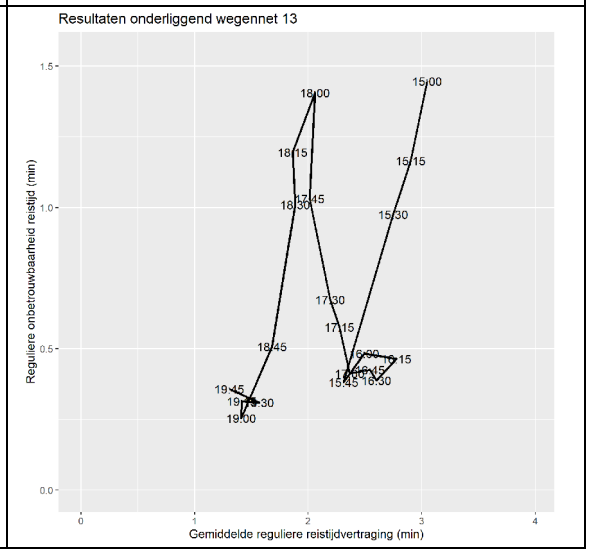




Middagspits

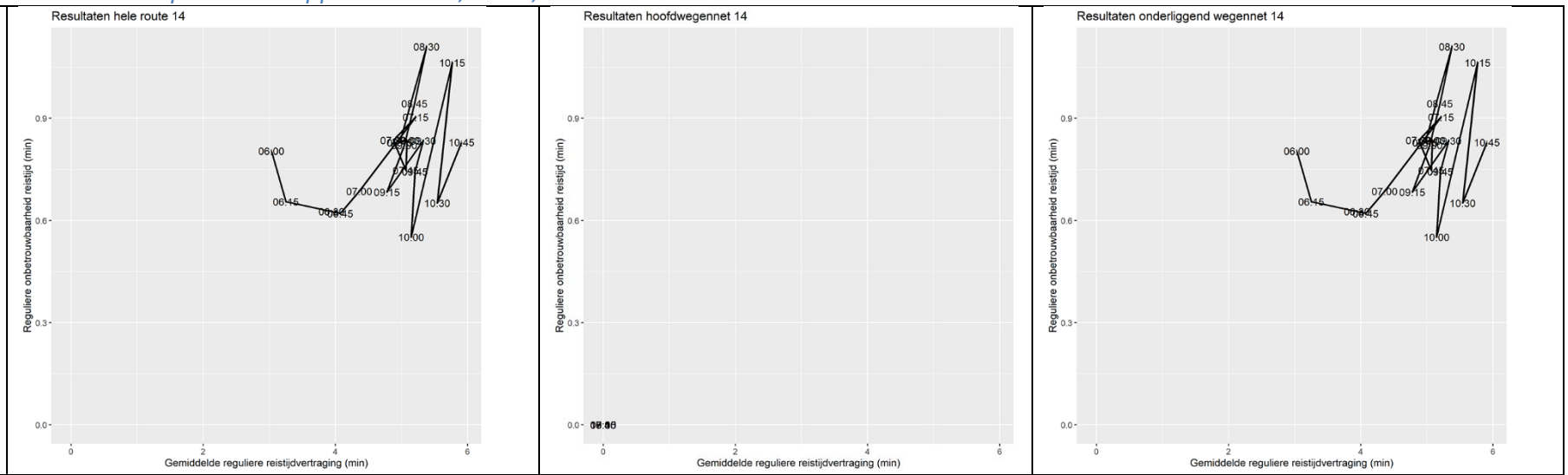




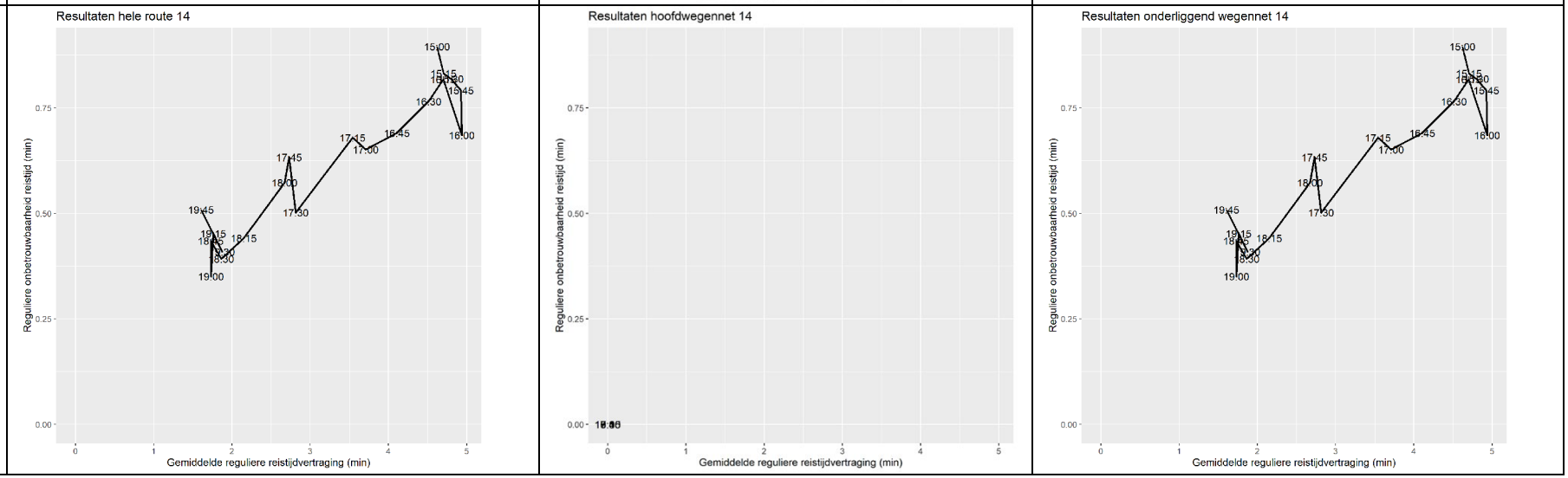


Route 14 Noordoostpolder – Meppel via N331, N762, N375

Ochtendspits

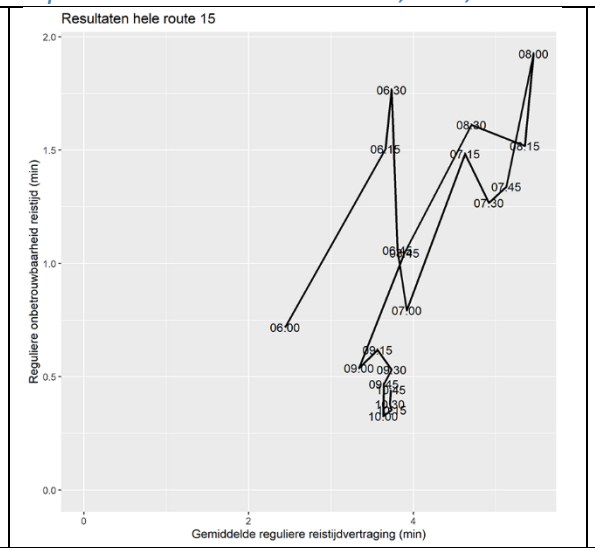


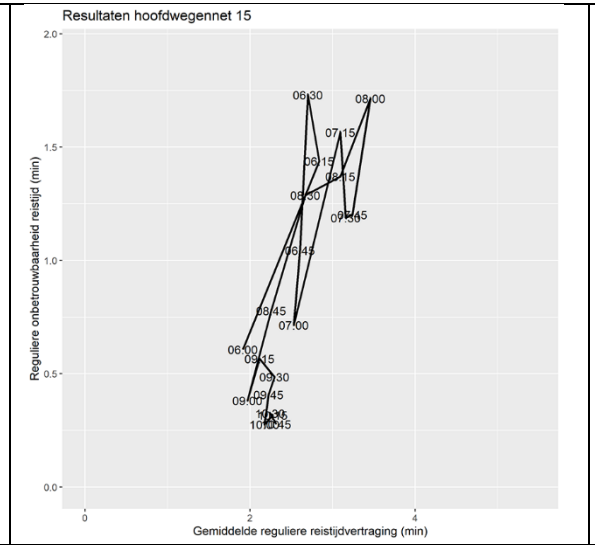
Middagspits

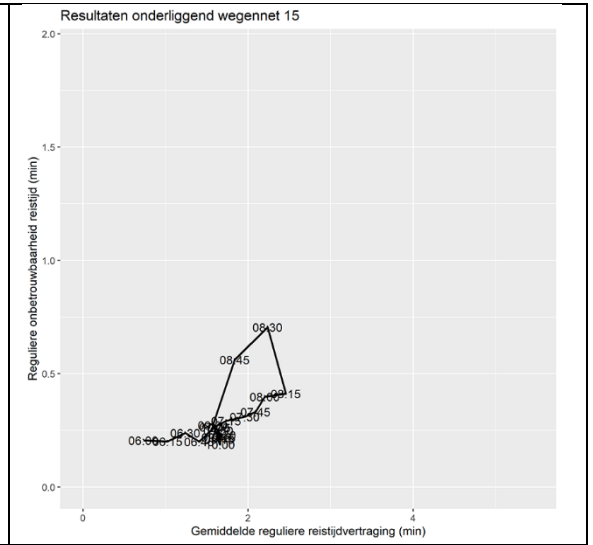


Route 15 Apeldoorn – Arnhem via A50, A12, N325

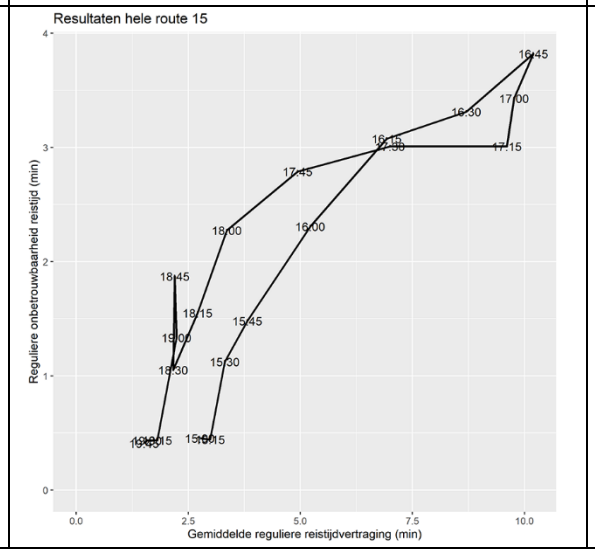
Ochtendspits

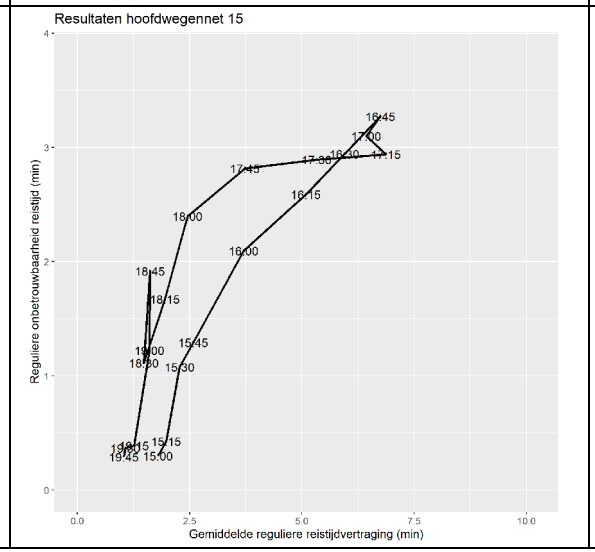


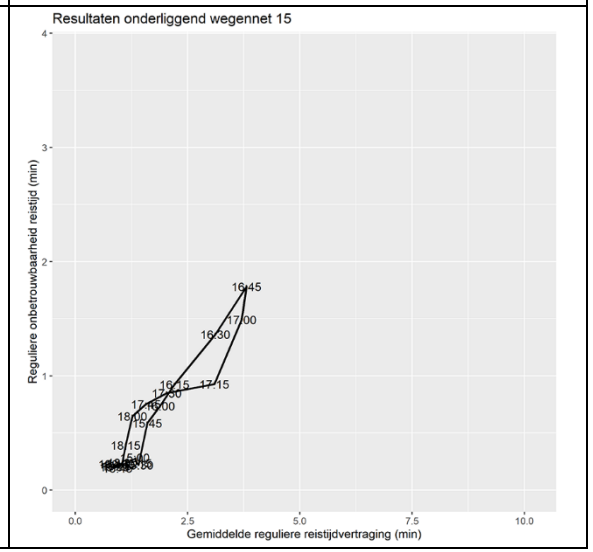




Middagspits

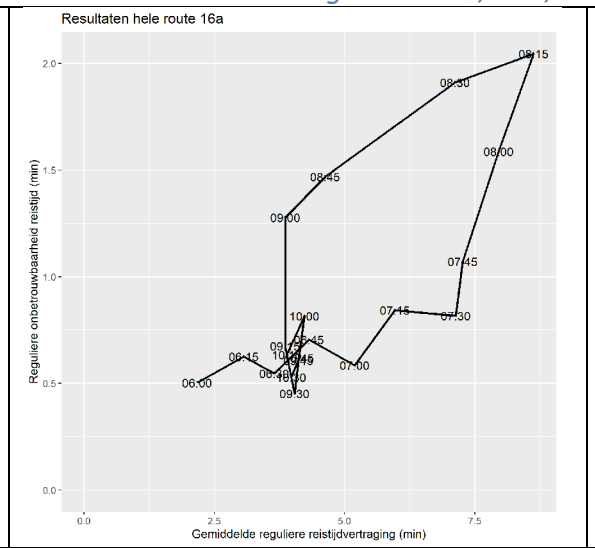


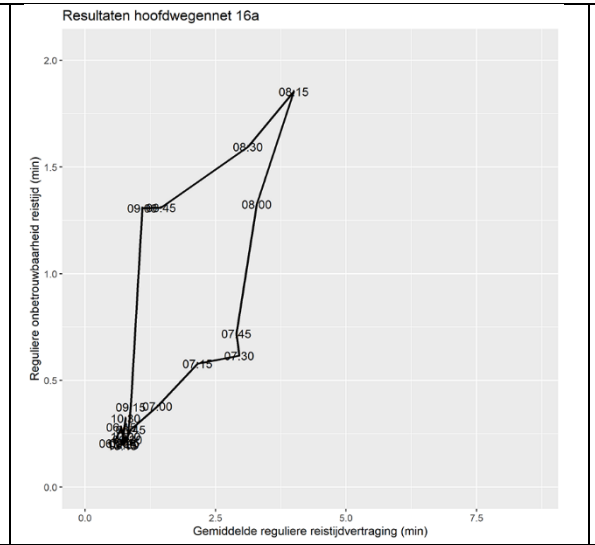


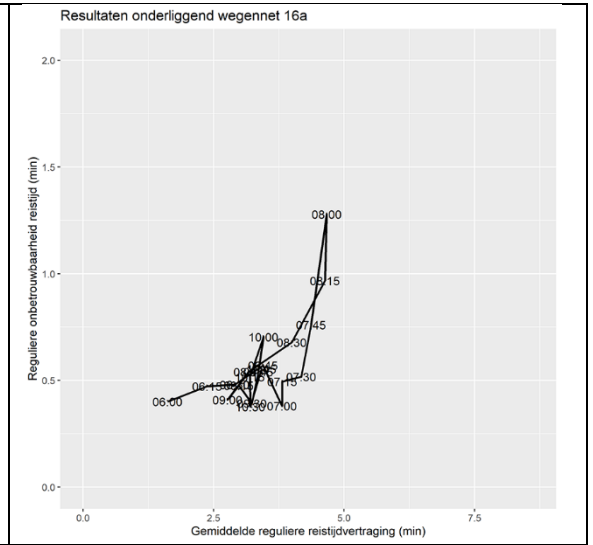


Route 16a Aa en Hunze – Groningen via N34, A28, Emmaviaduct

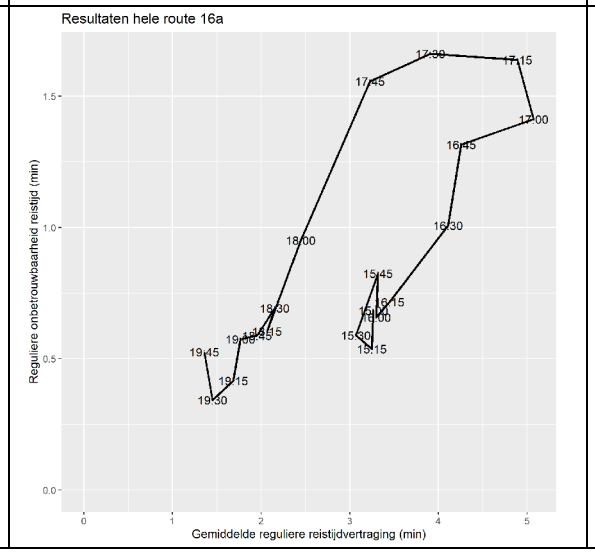
Ochtendspits

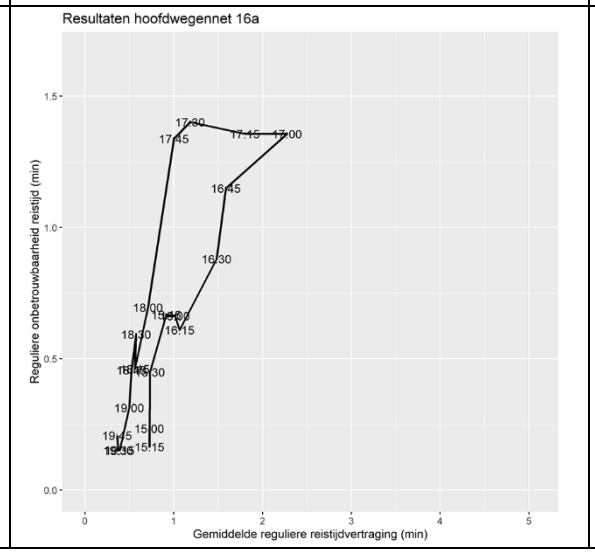


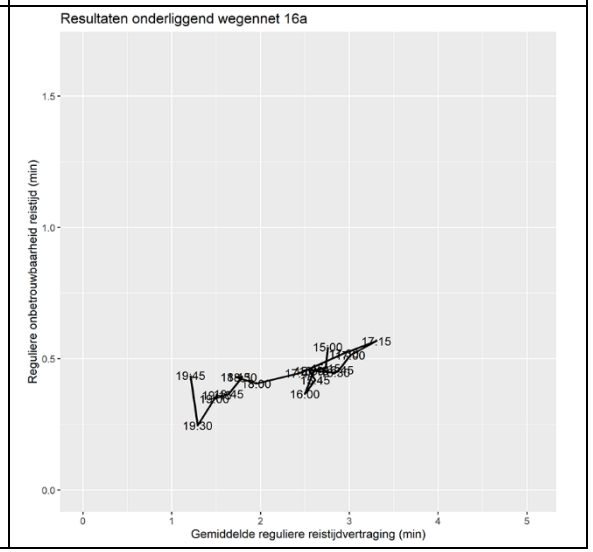




Middagspits

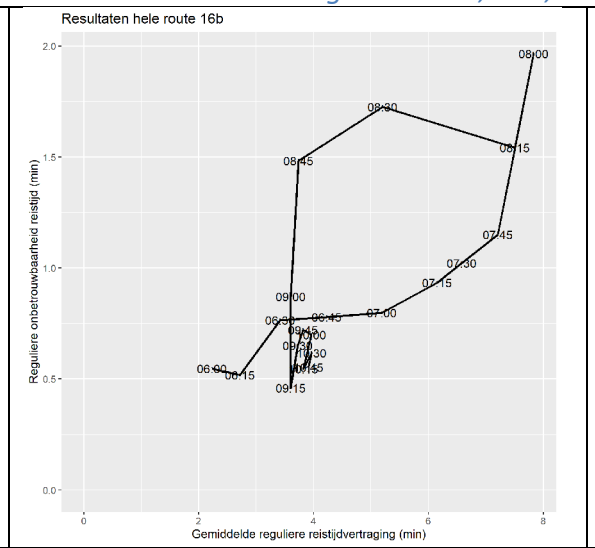


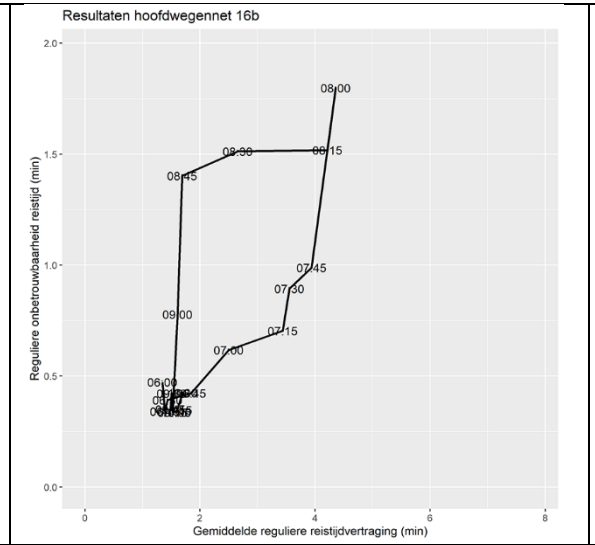


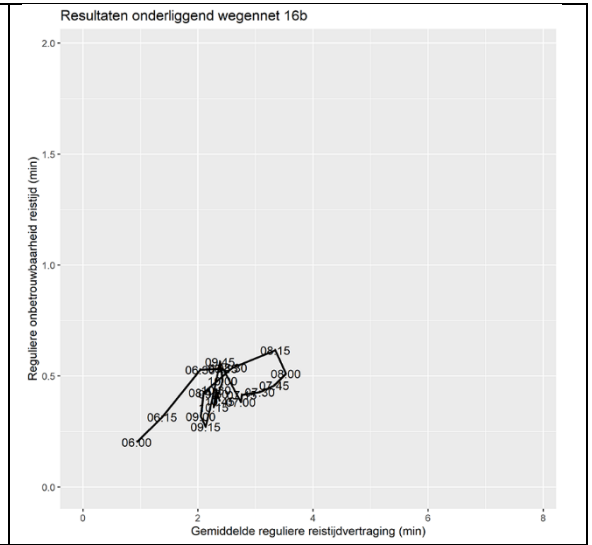


Route 16b Aa en Hunze – Groningen via N33, A28, Emmaviaduct

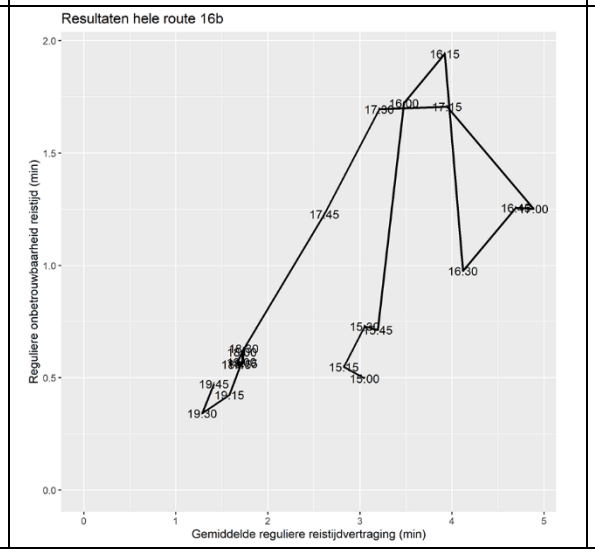
Ochtendspits

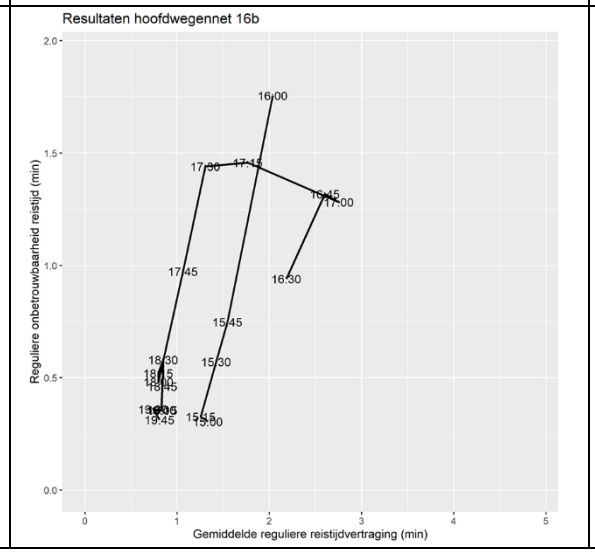


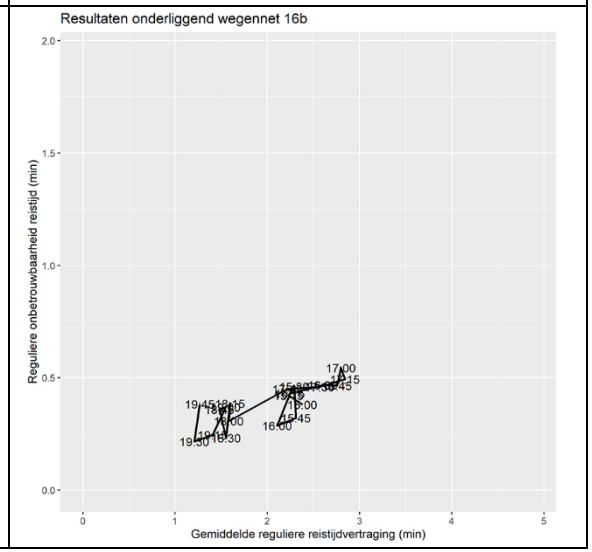




Middagspits

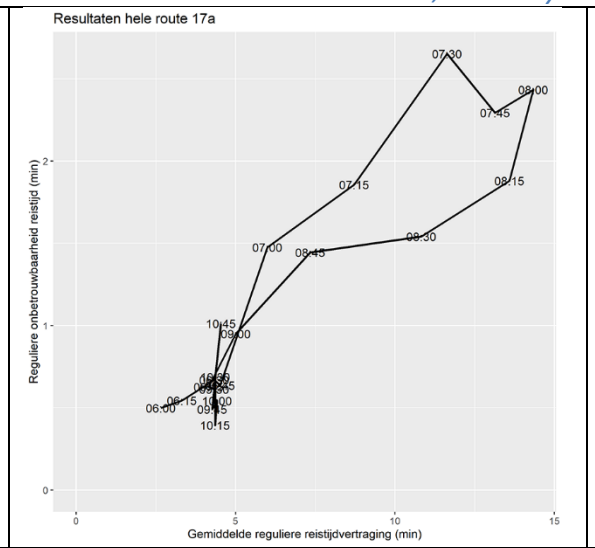


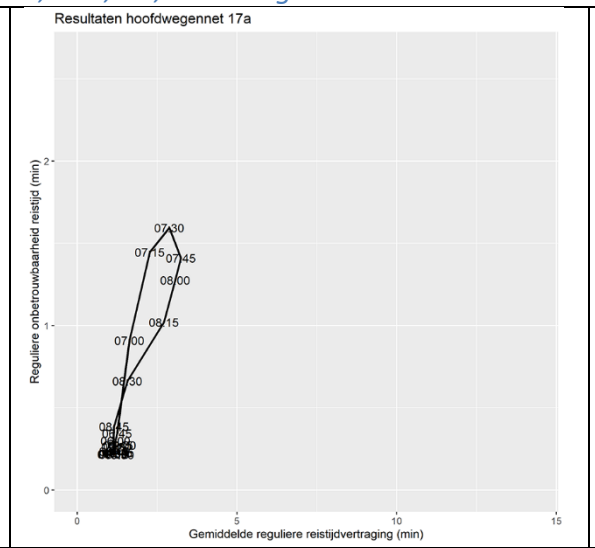


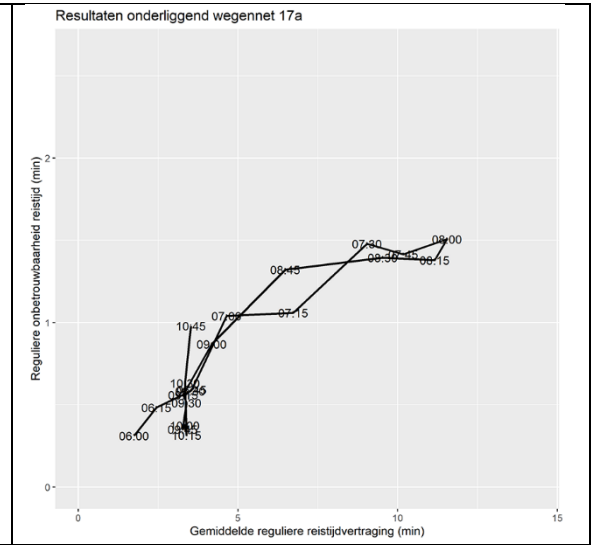


Route 17 Helmond – Den Bosch via N270, Kennedylaan, A50, A2, Randweg

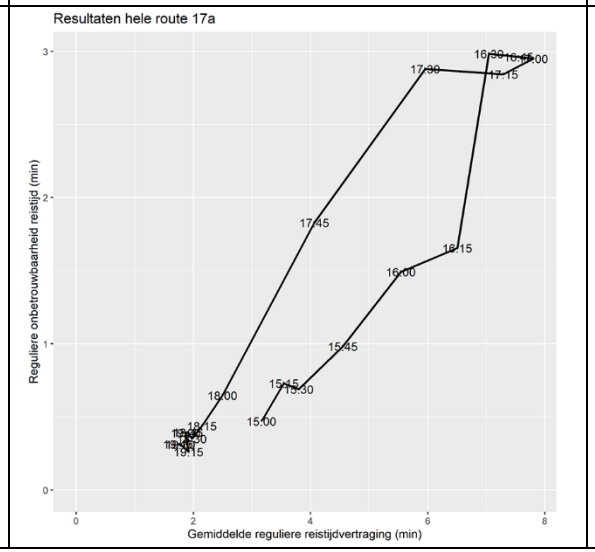
Ochtendspits

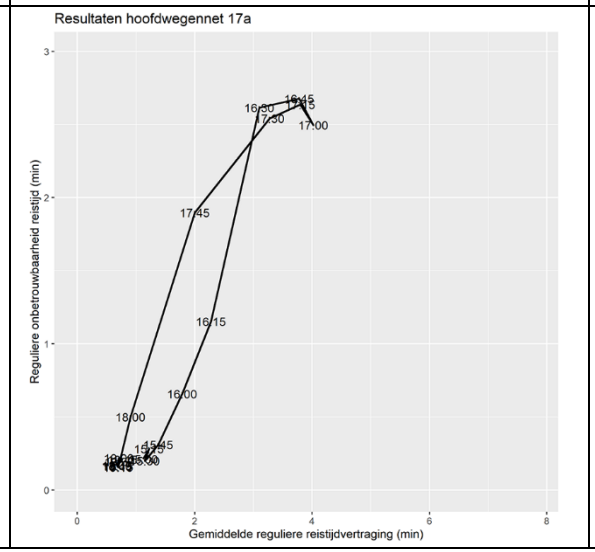


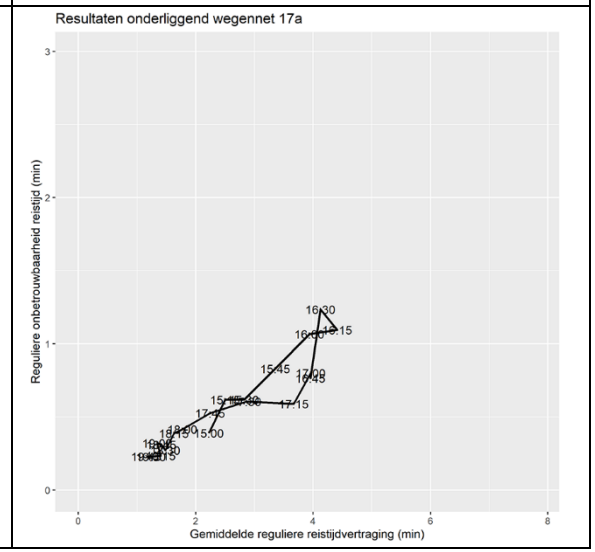




Middagspits

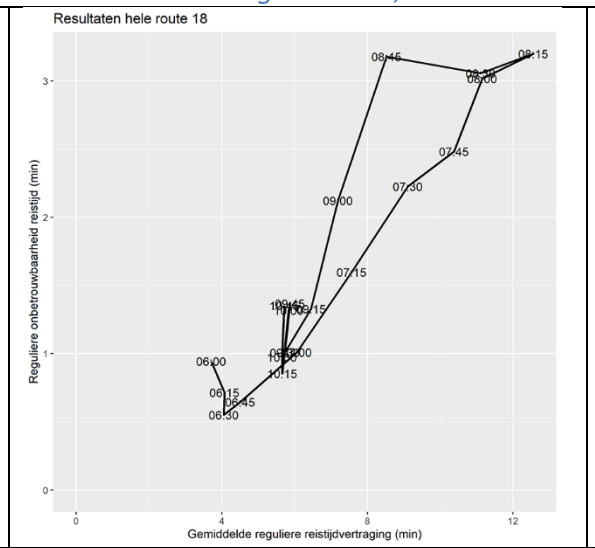


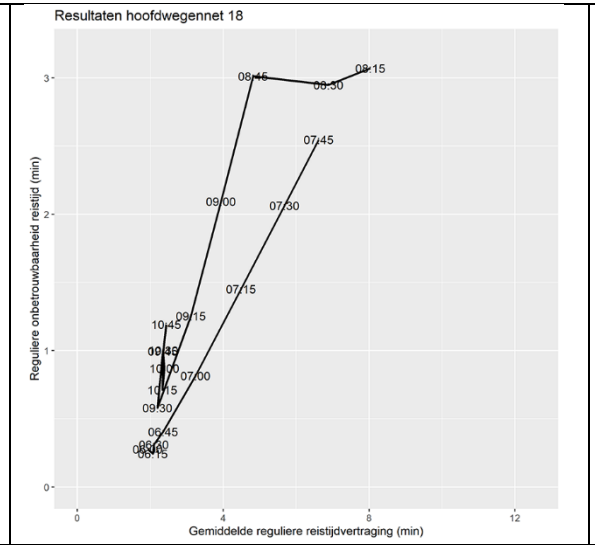


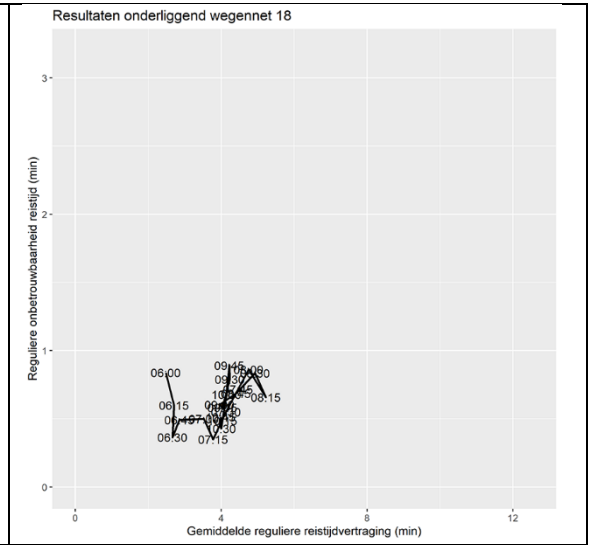


Route 18 Gouda – Den Haag via N451, A12

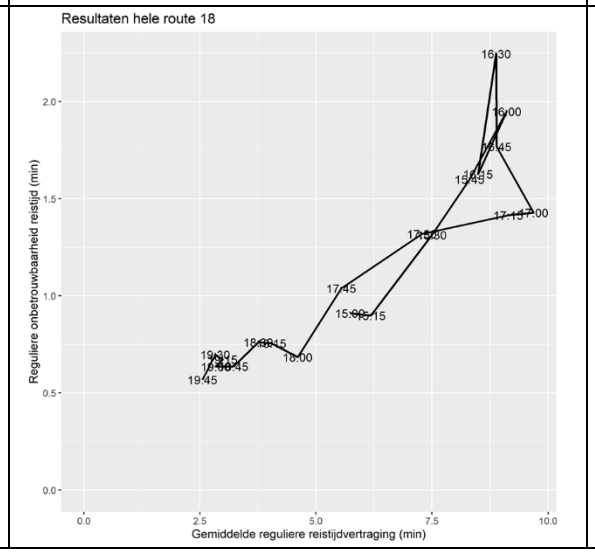
Ochtendspits

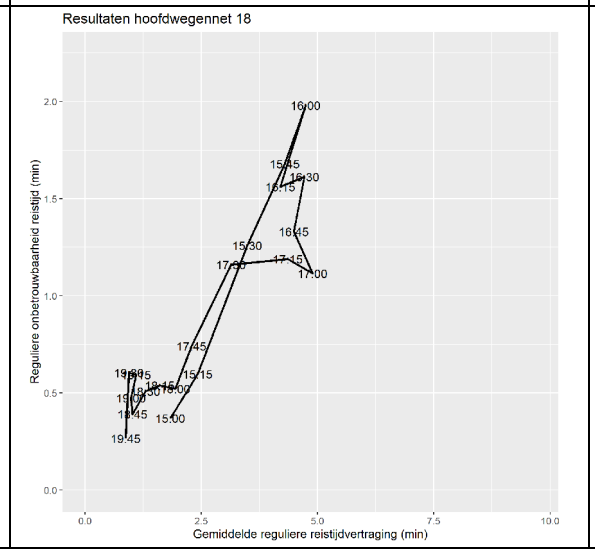


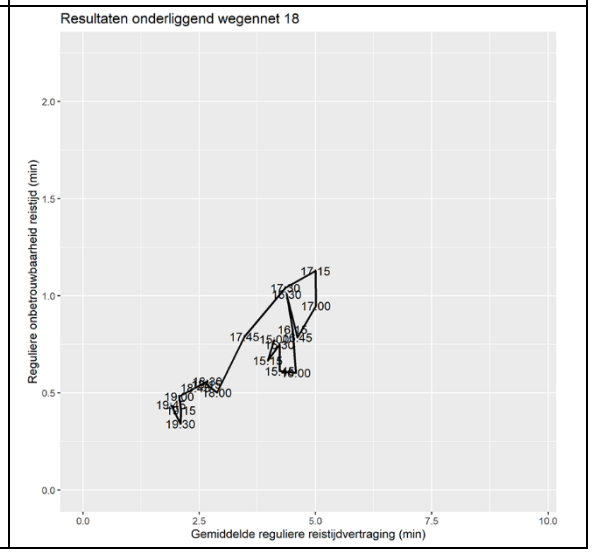




Middagspits

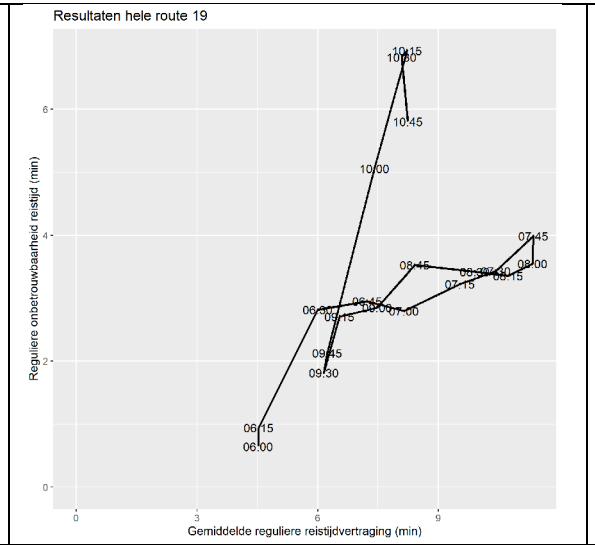


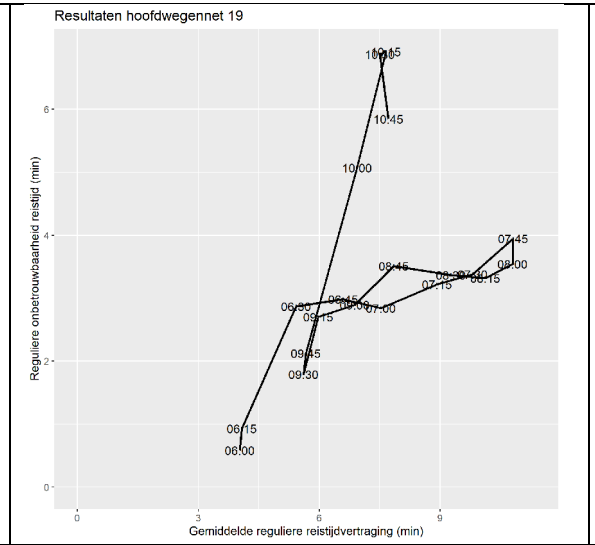


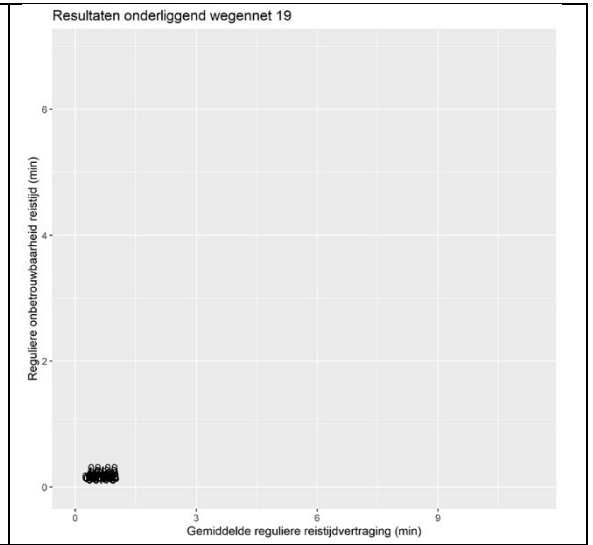


Route 19 Amsterdam – Zevenaar via A1, A30, A12

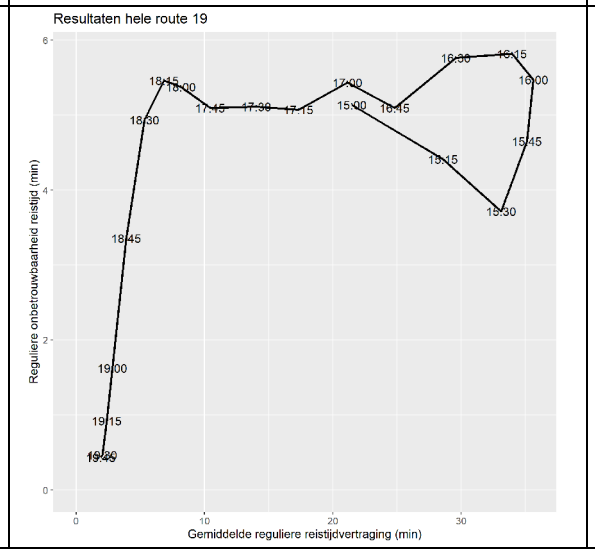
Ochtendspits

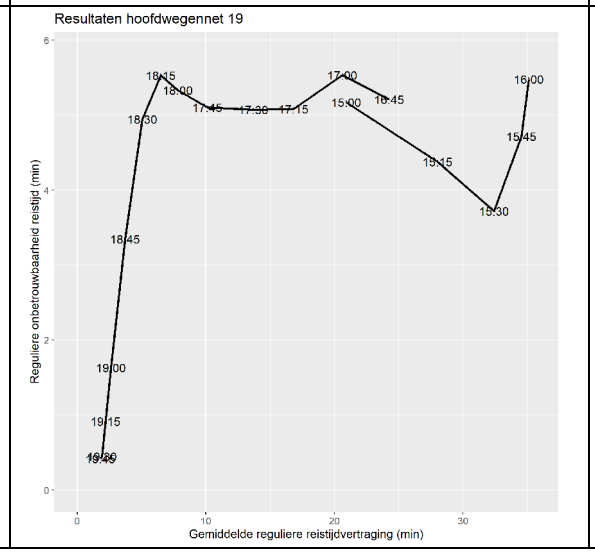


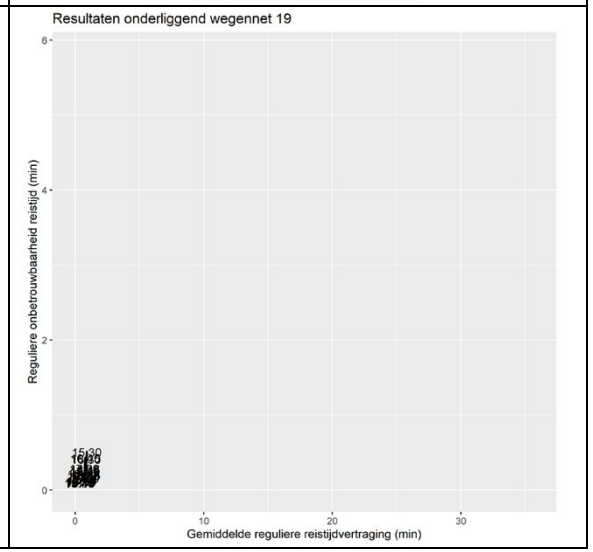




Middagspits

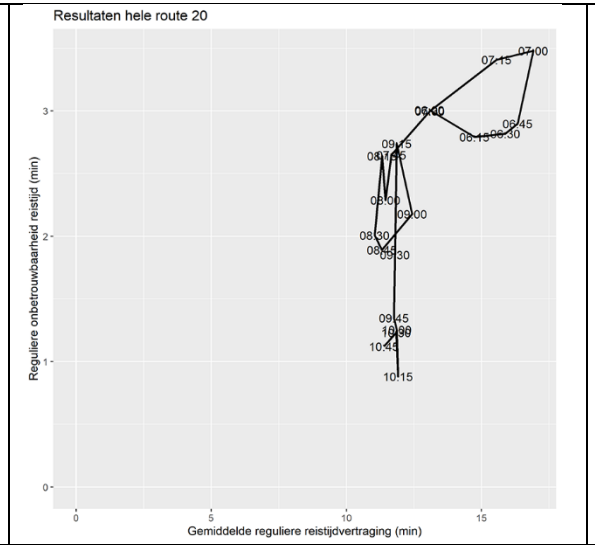


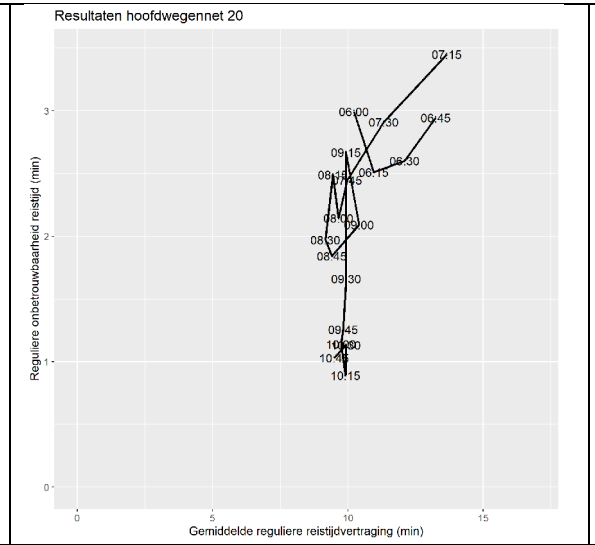


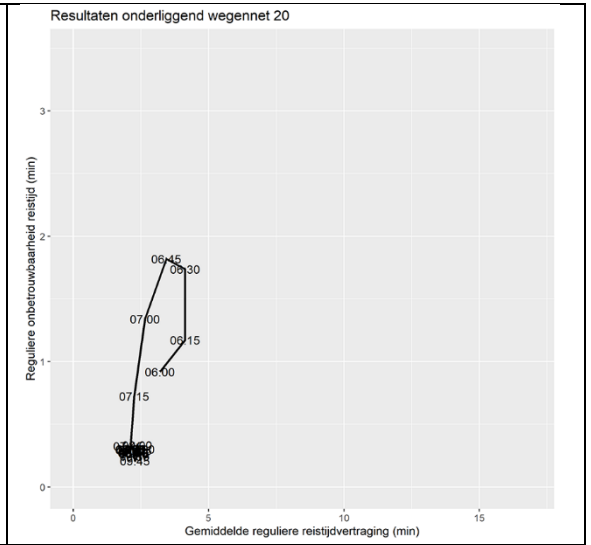


Route 20 Maasvlakte – Smele via N15, A15, A73

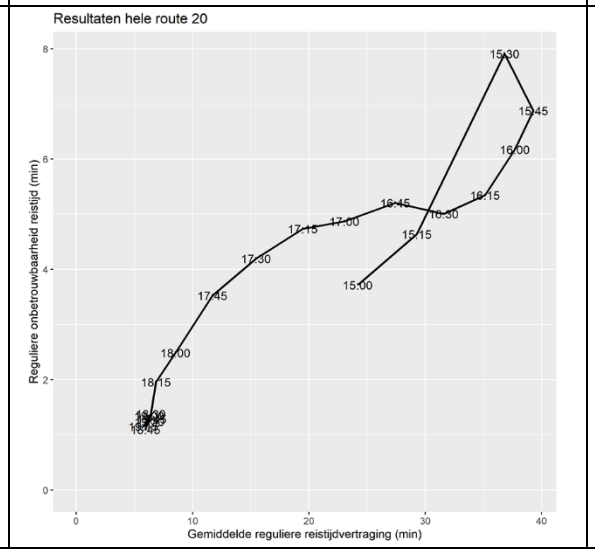
Ochtendspits

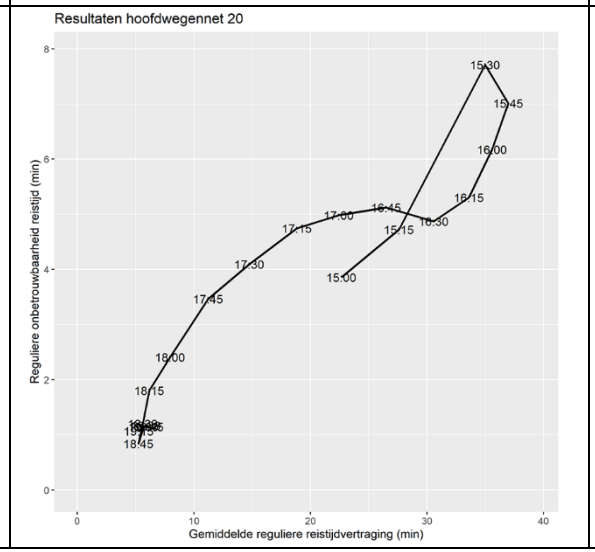


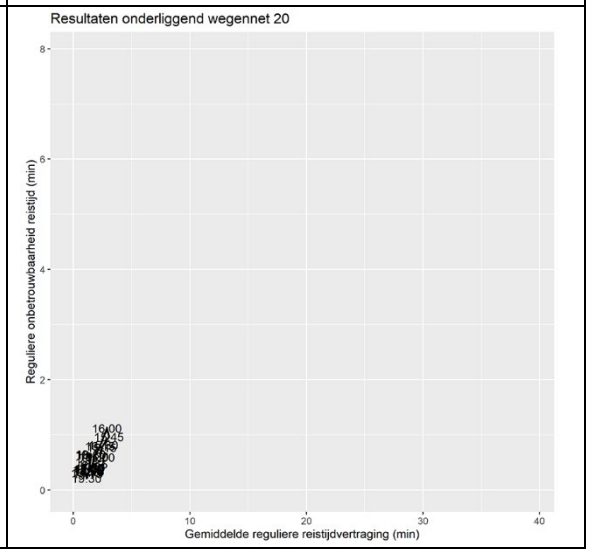




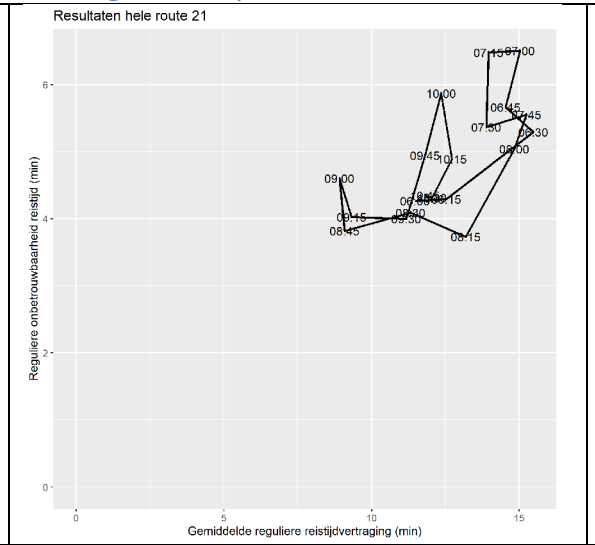
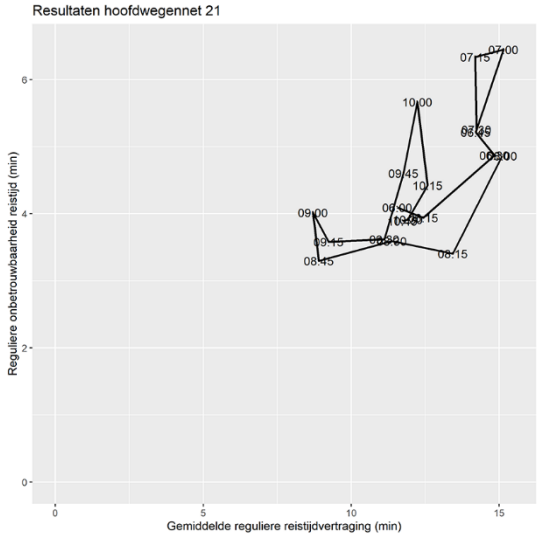
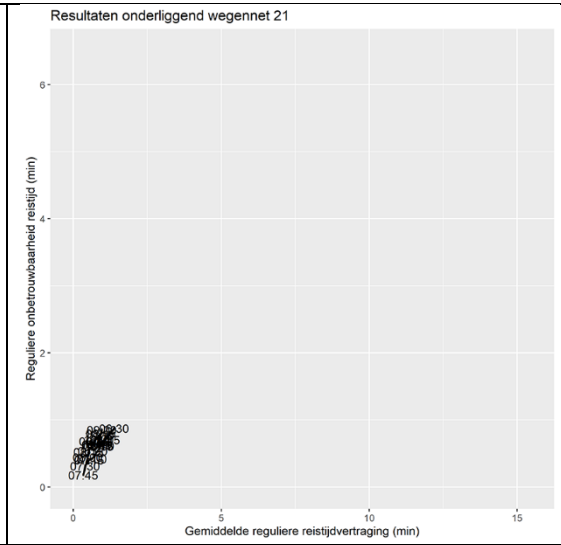
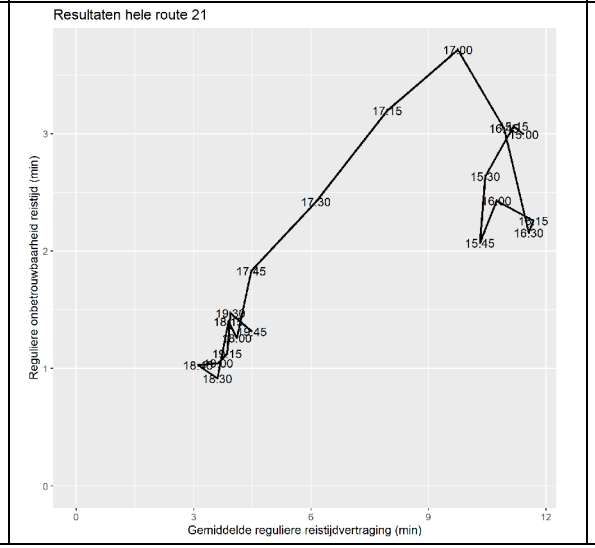
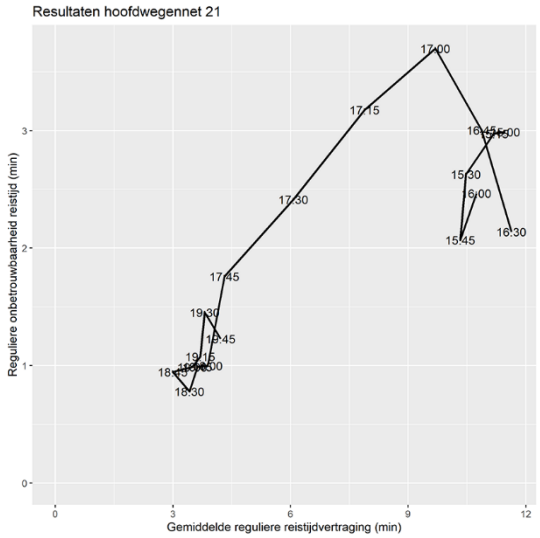
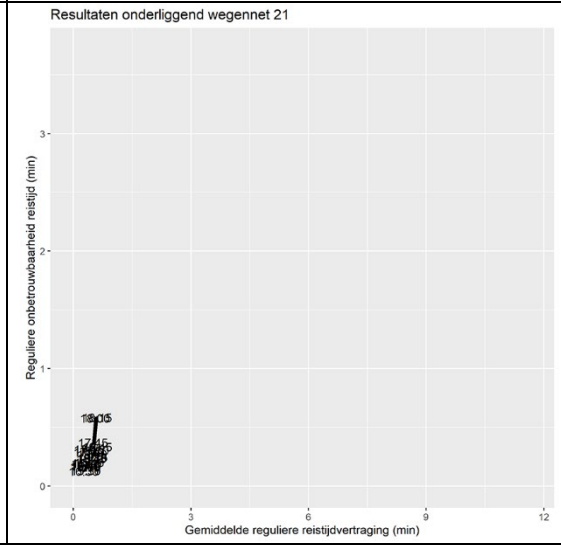
Middagspits





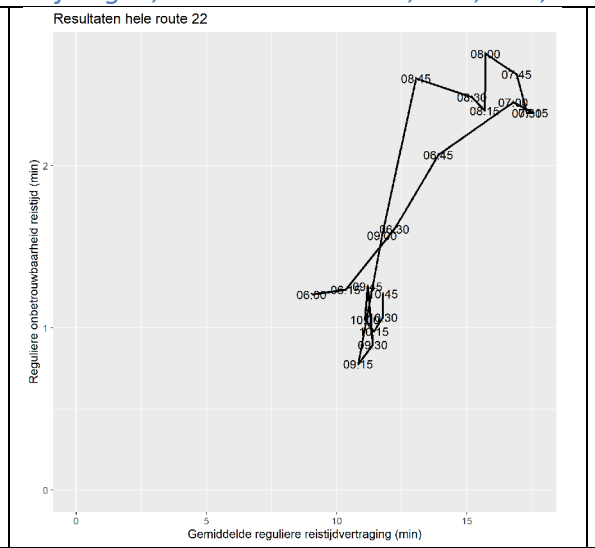


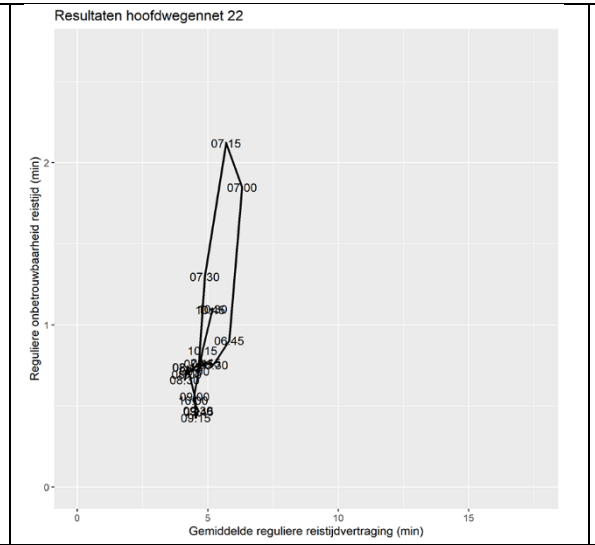
Route 21 Harlingen – Schiphol via N31, A7, A8, A10, A4

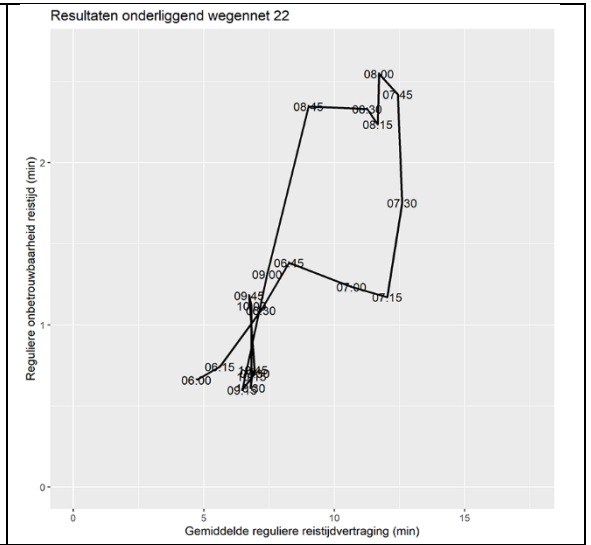
Ochtendspits			
Middagspits			

Route 22 Nijmegen, Enschede via A325, A12, A18, N18

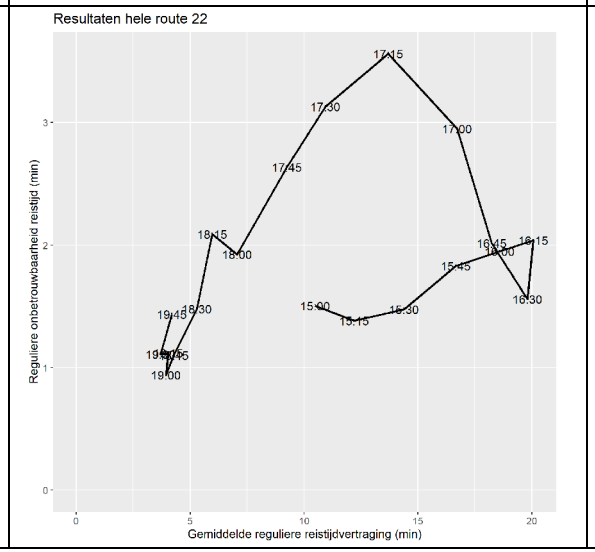
Ochtendspits

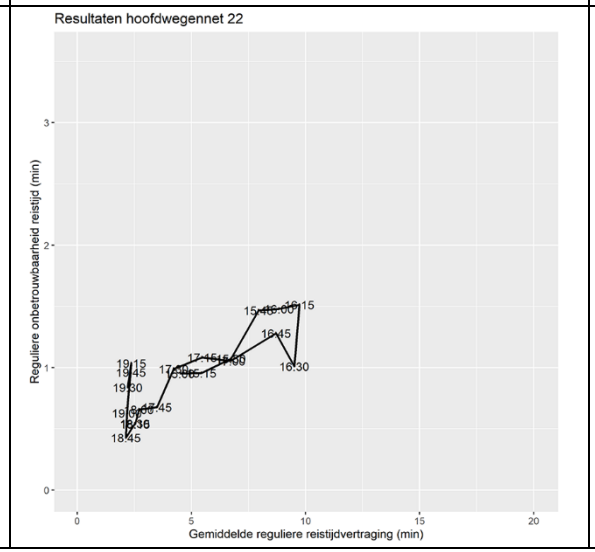


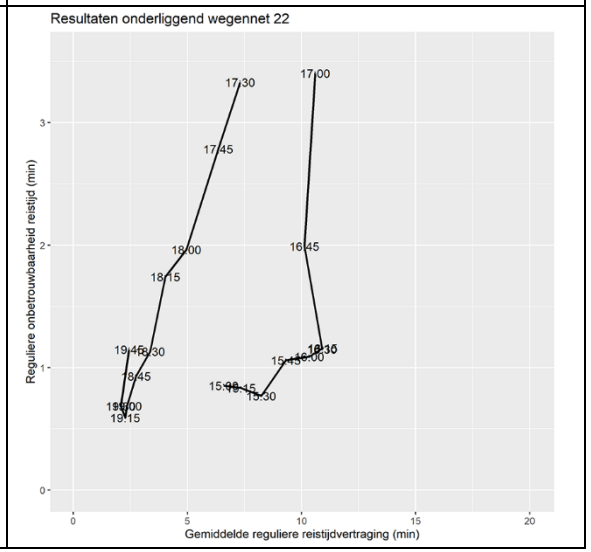




Middagspits

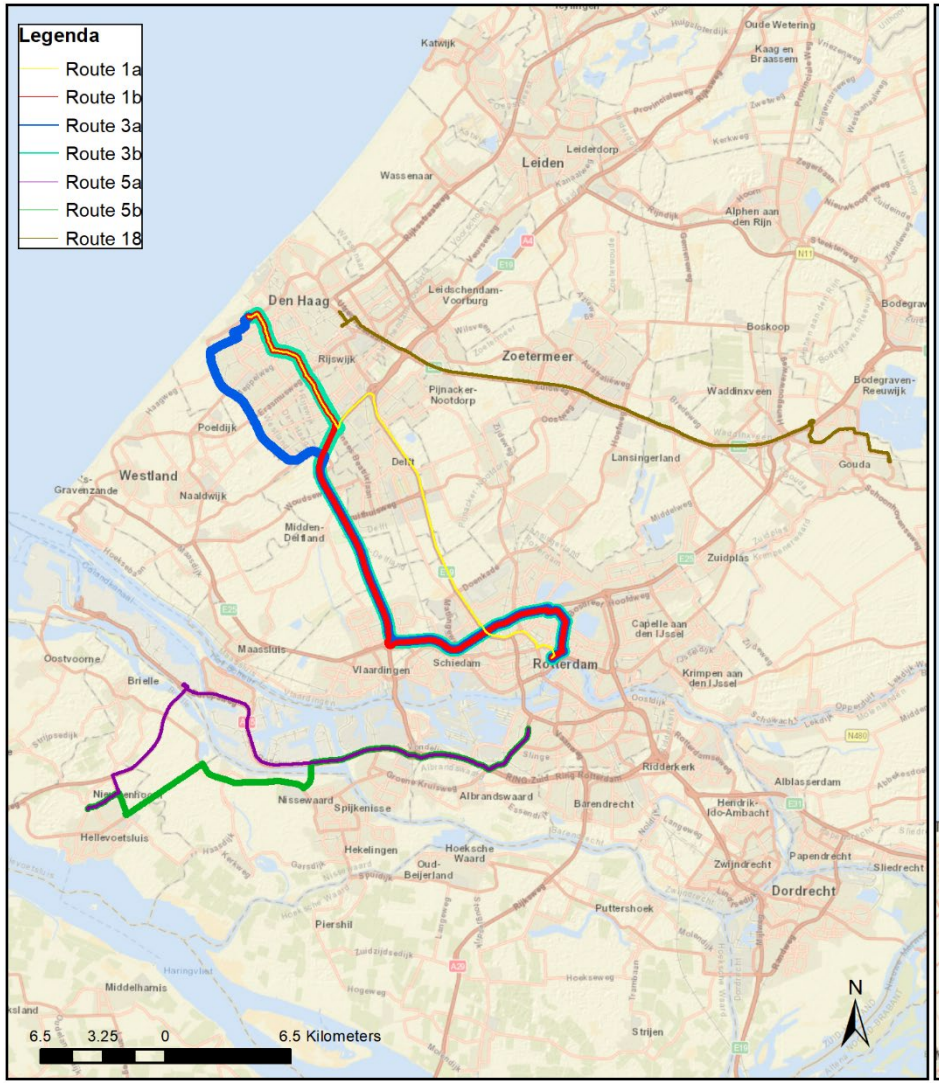






Bijlage 2 Detailkaarten geselecteerde routes

Detailkaarten Randstad (routes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 18)



Detailkaarten Brabant en Noord-Nederland (routes 8, 11, 14, 16, 17)